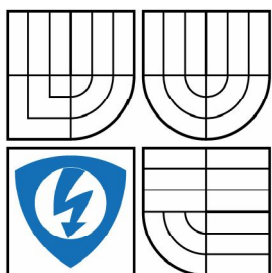


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## SYNTÉZA ASTRONOMICKÝCH FOTOGRAFIÍ

SYNTHESIS OF ASTRONOMICAL IMAGES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

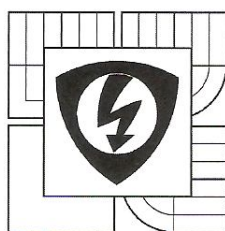
PETR SAUER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. LUDĚK ČERVINKA

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Automatizační a měřicí technika**

**Student:** Petr Sauer

**Ročník:** 3

**ID:** 134602

**Akademický rok:** 2012/13

**NÁZEV TÉMATU:**

## Syntéza astronomických fotografií

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Na základě získaných znalostí a dosažených výsledků semestrální práce proveďte syntézu astronomických fotografií. Výsledný program bude schopen provést složení vzájemně posunutých, otočených či rozmazaných snímků do jednoho výsledného snímku za účelem odstranění rušivých vlivů atmosféry a vlastního šumu snímače.

Dále použijte filtrační metodu „Lucky Imaging“ pro dosažení vhodnějších výsledků než u předchozího kroku. Výsledky obou metod porovnejte.

Vytvořte vhodné GUI pro obsluhu programu.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

ŠONKA, M., HLAVÁČ, V., BOYLE, R.: Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Thomson, Toronto, 2008. 829 p. ISBN 978-0-495-08252-1.

JÁN, J.: Medical Image Processing, Reconstruction and Restoration. CRC Press, 2005. 760 p. ISBN 978-0824758493

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 27.5.2013

**Vedoucí práce:** Ing. Luděk Červinka

**Konzultanti bakalářské práce:**

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

předseda oborové rady



### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Cílem této práce je vytvořit program pro slícování astronomických fotografií. Vstupní fotografie jsou poškozeny atmosférickými vlivy. Práce se věnuje způsobu zarovnání a způsobům slícování. Pro výběr vhodně zarovnaných snímků je použita filtrační metoda "Lucky imaging". Program je vytvořen v programu „Matlab“ a ovládá se přes grafické uživatelské rozhraní.

## **Klíčová slova**

FT-Fourierova transformace, kontrast, jas, korelace, slícování

## **Abstract**

The aim of this work is to create a program for fitting astronomical images. The input image is corrupted by atmospheric influences. The work describes the way the alignment and fitting methods. To select appropriately aligned images are used filtration method "Lucky imaging". The program is created in the "Matlab" and is controlled via a graphical user interface.

## **Keywords**

FT-Fourier transfer, kontrast, brightness, correlation, fitting

### **Bibliografická citace:**

SAUER, P. *Syntéza astronomických fotografií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 47s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. Luděk Červinka.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Syntéza astronomických fotografií jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **27. května 2013**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Ludřkovi Červinkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc, za pořízení astronomických snímků a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **27. května 2013**

.....  
podpis autora

# Obsah

1	Úvod .....	10
2	Analýza obrazu.....	10
2.1	Předzpracování obrazu.....	10
2.1.1	Kvantování .....	11
2.1.2	Vzorkování .....	11
2.1.3	Reprezentace obrazu .....	12
2.2	Segmentace .....	12
2.2.1	Prahování.....	13
2.2.2	Konvoluce, hranové detektory .....	13
2.2.3	Významné body .....	15
2.3	Frekvenční spektrum obrazu .....	18
3	Syntéza obrázků.....	20
3.1	Fázová korelace .....	21
3.1.1	Princip: .....	21
3.1.2	Ukázky výsledků zmíněného principu. ....	25
4	Astronomické snímky .....	26
4.1	Filtre „Lucky imaging“ .....	26
5	Vytvořený program .....	27
5.1	Načtení a zarovnání snímků .....	27
5.2	Zpracování snímků („Lucky imaging“) .....	29
5.2.1	Průměrové metody .....	30
5.2.2	Metody s „Lucky imaging“ .....	31
5.3	Uložení a ostření.....	32
5.3.1	Export výsledků, dat .....	33
5.3.2	Režim ostření .....	35
5.4	Programová náročnost výpočtů .....	37
6	Závěr .....	41

# Seznam obrázků

Obrázek 2-1: Dvě jasové úrovně, 4 jasové úrovně a 256 jasových úrovní .....	11
Obrázek 2-2: Ortogonální maska (vlevo), hexagonální maska (vpravo). [3] .....	11
Obrázek 2-3: Jemnější vzorkování (vlevo), hrubší vzorkování (vpravo). .....	12
Obrázek 2-4: Experimentální hledání prahu. ....	13
Obrázek 2-5: Výběr prahu dle Histogramu. ....	13
Obrázek 2-6: Originál, Prewittová - 2masky, Prewittová – 4 masky, Prewittová – 8 masek. .....	15
Obrázek 2-7: Horizontální hrany, Vertikální hrany, Součet hran. ....	15
Obrázek 2-8: Detekce významných bodů u šachovnice a u čtverců. ....	17
Obrázek 2-9: Obrázek Frekvenčního spektra syntetického obrázku. ....	19
Obrázek 2-10: Obrázek Frekvenčního spektra a jeho složky. ....	19
Obrázek 2-11: Amplitudové spektrum (vlevo), vycentrované Amplitudové spektrum. ....	20
Obrázek 2-12 Obrázek s chybou vzniklou zapomenutím na zpětné posunutí spektra. ....	20
Obrázek 3-1: Obrázek $a(x,y)$ vlevo a jeho otočená replika $b(x,y)$ vpravo. ....	21
Obrázek 3-2: Frekvenční spektra obrázků $A(u,v)$ vlevo, $B(u,v)$ vpravo. ....	22
Obrázek 3-3: High filtr (vlevo), $A_h(u,v)$ vyfiltrované $A(u,v)$ (střed), $B_h(u,v)$ vyfiltrované $A(u,v)$ . ....	22
Obrázek 3-4: Ilustrativní obrázek k převodu kartézské soustavy a Polární soustavy. ....	23
Obrázek 3-5: Interpolované obrazy $A_{hi}$ (vlevo) a $B_{hi}$ (vpravo) logaritmickými souřadnicemi. ....	23
Obrázek 3-6: Zleva obrázek $a(x,y)$ a jeho rotovaná kopie $b_1(x,y)$ a $b_2(x,y)$ . ....	24
Obrázek 3-7: Sloučení $a(x,y)$ a rotovaného $b(x,y)$ , výsledek vpravo. ....	25
Obrázek 3-8: Posunuté obrázky $a(x,y)$ a $b(x,y)$ , sloučení (vpravo). ....	25
Obrázek 3-9: Sloučení posunutých a rotovaných obrázků. ....	25
Obrázek 3-10: Neodolnost vůči šumu (použit gausův šum) .....	26
Obrázek 4-1: Grafické náznaky metod pro výběr 10% snímků. ....	27
Obrázek 5-1: Principiální algoritmus vytvořeného programu. ....	27
Obrázek 5-2: Program - načtení složky obrázků .....	29
Obrázek 5-3: Zarovnané snímky, zaktivovaný panel pro operace slícování .....	30
Obrázek 5-4: principiální blokové schéma funkce prokorelace .....	32
Obrázek 5-5: Rozdělení vstupního snímku na jednotlivé submatice a výsledné slícování ...	32
Obrázek 5-6: Na obrázku zachycen zpracovaný obrázek a aktivace tlačítek uložení a ostření .....	33



Obrázek 5-7: Obrázek zachycuje program2 pro ostření bezprostředně po načtení.....	35
Obrázek 5-8: ukázka programu v režimu ostření prstencem. ....	36
Obrázek 5-9: Jasová a kontrastní charakteristika. Čerpáno z [17].....	37
Obrázek 5-10: Program v režimu ladění jasu a kontrastu .....	37
Obrázek 5-11: Obrázek zobrazuje grafické vlastnosti času T1 z tabulky tabulka 5-1 .....	38
Obrázek 5-12: obrázek ze složky Moon1 .....	40
Obrázek 5-13: obrázek ze složky Moon_1 .....	40

# 1 ÚVOD

V dnešním světě není nic neobvyklého, když si člověk usmyslí spojovat více fotografií v jednu fotografii. Mezi nejčastější potřeby fotoamatérů řadíme takzvané panorama. Tato problematika není pro fotoamatéra žádný problém. Existují digitální fotoaparáty, které vyfocené snímky sami slícují. Další jednoduchý způsob, jak docílit snadno panorama, nám nabízí široká škála dostupných počítačových programů. Důvodem slícování obrázků může být požadavek na kvalitu obrazu. Například hvězdáři pro získání koróny slunce využívají mnohdy i desítky snímků slunce pořízené v přibližně stejnou dobu s jinou časovou expozicí. Touto problematikou se hluboce zabývá i pan prof. RNDr. Miroslav Druckmüller, CSc., který danou problematiku rozebírá po matematické stránce.

Matematických metod, kterými se může člověk dopracovat ke složení dvou a více obrázků je mnoho. Nutno podotknout, že jde často o robustní mechanismus složený z různých matematických operací (filtrace, prahování, detekce hran,...). Obvykle se ale jedná o řešení zaměřené na konkrétní skupinu (oblast) snímků, nikoliv o globální řešení pro všechny obrázky. Například je rozdíl, zda zpracováváné snímky obsahují kulaté nebo obdélníkové předměty. Důležité rozdíly jsou v jasových podmínkách, při kterých byly snímky pořízeny. Například denní světlo, šero, noc, deštivé počasí, prašný vzduch,... se projeví různou měrou na zašumění fotografie.

Tato práce se zabývá problematikou slícování obrázků za pomoci matematického programového prostředí Matlab. Zabývá se analýzou obrazu, ne procedurou snímání.

## 2 ANALÝZA OBRAZU

Analýzu obrazu lze rozdělit do 5 dílčích procedur: snímání, předzpracování, segmentace, popis a klasifikace. Při snímání 3D objektu získáváme analogový signál (analogový fotoaparát) v 2D ploše. Tímto procesem dochází ke ztrátě informace (ztráta jedné dimenze). Při pořizování snímku digitálním čipem může dojít rovnou k diskretizaci obrazu.

### 2.1 Předzpracování obrazu

Předzpracování obrazu je proces, při kterém se převede 2D analogový obraz na diskretní obraz. Toho lze dosáhnout diskretizací, čímž vznikne diskretní obraz. Matice bodů, pixelů. Pixel je nosič informace nesoucí informaci o jasu v daném bodě. Tato informace může být poznamenána šumem.

Cílem předzpracování je odstranění šumu, potlačení zkreslení, zvýšení kontrastu. Jinými slovy jde o zdůraznění charakteristiky obrazu pro následné zpracování, například pro detekci hran, rohu,...

### 2.1.1 Kvantování

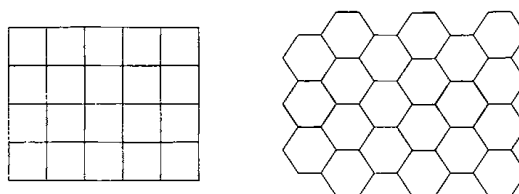
Kvantování vzniká digitalizací analogového signálu v amplitudě. Jasové spektrum obrázku rozdělíme na několik intervalů zastupujících konkrétními jasovými hodnotami. Dále můžeme dělit na uniformní a neuniformní kvantování, kde uniformní znamená použití konstantní délky intervalů a neuniformní znamená použití proměnných délek intervalů. Jednoduchou metodou umožňující kvantování, může být prahování obrazu. Na obrázku Obrázek 2-1 je vidět vlevo binární obraz vzniklý ze dvou intervalů, prostřední obrázek je rozdělen na 4 intervaly a pravý obrázek je složen z 256 stupňů jasu. (Obrázek vytvořen z obrázku lenaM.bmp dostupné z [1], s použitím proměnné délky intervalů pomocí prahování.)



Obrázek 2-1: Dvě jasové úrovně, 4 jasové úrovně a 256 jasových úrovní.

### 2.1.2 Vzorkování

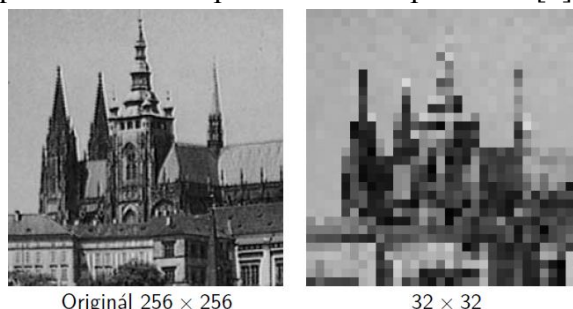
Vzorkování získáme digitalizací analogového signálu v čase. Dělí se na primární vzorkování a sekundární. K primárnímu vzorkování dochází hardwarově při pořizování snímku u digitálního fotoaparátu, kdy se obraz vzorkuje na CCD čip. Tento čip může mít ortogonální, triangulární nebo hexagonální masku. Nejčastěji se používá ortogonální maska, protože s ní lze jednoduše pracovat maticovými operacemi. Čerpáno z [2]



Obrázek 2-2: Ortogonální maska (vlevo), hexagonální maska (vpravo). [3]

Sekundární vzorkování (softwarové) zvyšuje, nebo snižuje rozlišení dříve pořízeného obrazu. Princip: 2D obrázek se vzorkuje na dvourozměrnou matici  $(x,y)$ , kde  $x$  jsou řádky a  $y$  jsou sloupce. Čím jemnější zvolíme vzorkování, tím větší matici získáme. K provedení vzorkování lze použít různé interpolace, například: nejbližšího

souseda, kubickou, lineární... Na obrázku Obrázek 2-3 je vidět rozdíl mezi navzorkováním 32x32 pixel a 256x256 pixel. Obrázek převzat z [4]



Obrázek 2-3: Jemnější vzorkování (vlevo), hrubší vzorkování (vpravo).

## 2.1.3 Reprezentace obrazu

Obraz lze reprezentovat několika způsoby, které nám přináší zároveň požadavky na paměťové uložení dat. Nejčastější reprezentací obrazu je: binární obraz, monochromický obraz a multichromický obraz. Kolik zabere konkrétní obrázek paměti lze vypočítat pomocí výpočtu (1), kde  $N_x$  a  $N_y$  jsou počty pixelů v dané ose. Kde  $K$  se zjistí z počtu jasových složek, např.:  $256=2^K \Rightarrow K=8$

$$Velikost = N_x * N_y * K [bity] \quad (1)$$

Binární obraz (černobílý obraz) obsahuje pouze dvě jasové úrovně. Buď jasové úrovně 0 a 255, nebo 0 a 1. Celkový požadavek potřebného místa v paměti lze vypočítat vzorcem (1) s dosazením za  $K$  1. Monochromický obraz (šedotónový obraz) obsahuje 256 jasových úrovní, proto se do vzorce (1) dosadí za  $K$  8. Multichromický obraz je barevný obrázek složený zpravidla aditivním mícháním barev RGB (červená, zelená, modrá), což se projeví trojnásobným množstvím dat. Respektive každá barva má svou vlastní matici hodnot o rozměrech  $x$  a  $y$ , kde hodnota pixelu je tvořena jasovou složkou dané barvy. Více na [2].

Pro názornost si spočítáme velikosti všech tří výše zmíněných tipů obrázků pro rozměr obrázku 10x10 pixel. Binární obrázek zabere velikost 12.5 B, šedotónový obrázek 100 B a barevný obrázek 300 B. Na příkladu je vidět rozdílnost náročnosti na paměťové uložení. Nutno podotknout, že při práci s fotografiemi se pracuje s řády většími než je 1000x1000 pixel. To způsobuje nejen paměťovou náročnost, ale i časovou náročnost matematických operací.

## 2.2 Segmentace

Segmentace rozděluje vstupní obraz na několik segmentů, tím dochází ke zjednodušení obrázku a práce s ním. Cílem je rozdělit obraz na konkrétní objekty, například oddělit mince od pozadí. Oddělování objektů můžeme provádět na základě znalosti různých parametrů, například v závislosti znalosti barvy, tvaru nebo polohy. Mezi nejjednodušší segmentační metody patří metoda prahování a metoda založená na detekci hran. Mezi obtížnější metody segmentace patří metody hybridní, které mohou být založeny na

principech neuronové sítě, či morfologických operací. Nejčastějším problémem segmentace je šum a překrývající se objekty. Více na [5].

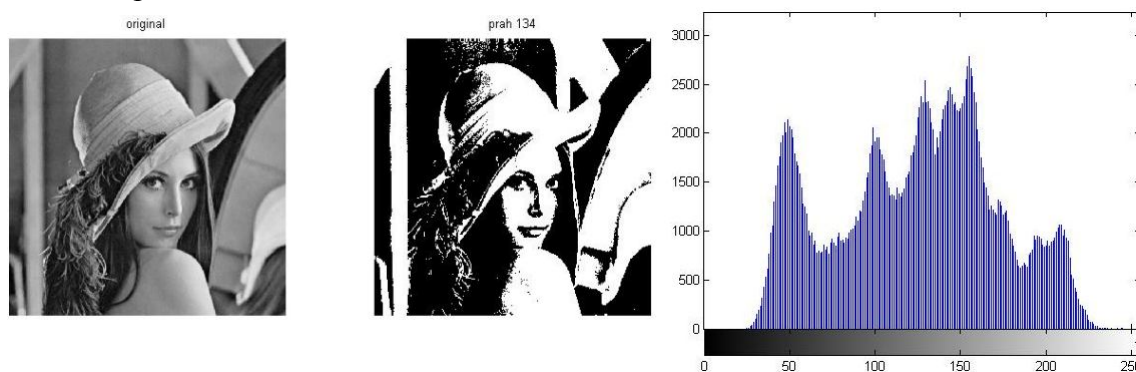
## 2.2.1 Prahování

Princip segmentace prahování je založen na předpokladu, že objekt má výrazně odlišnou jasovou úroveň než pozadí. Vhodně zvoleným prahem se jasové úrovně obrazu rozdělí na dva intervaly, přičemž je pozadí přidělena 0 a objektu 255 (nebo 1) a tím vznikne binární obraz. Prahy můžu zvolit více, a vznikne mi nebinární obrázek. Výsledek prahování je vidět na obrázku 2-1, kde je vlevo zobrazeno obraz s jedním prahem a uprostřed s třemi prahy. Problém metody prahování spočívá ve vhodném zvolení prahu (prahů). Hodnotu prahu lze stanovit experimentálně, z grafu Histogramu, procentně...



Obrázek 2-4: Experimentální hledání prahu.

Histogram je grafická závislost počtu pixelů na jasové úrovni, kde v ose x jsou jasové úrovně a v ose y četnosti pixelů. Zvolení jednoho prahu může být například lokální minimum mezi dvěma maximy. Na obrázku Obrázek 2-5 je vytvořený histogram pro výše použitý obrázek lenaM.bmp (Obrázek 2-1, vpravo). Histogram vytvořen pomocí vnitřní funkce programu Matlab: *imhist(I)*, kde *I* je obrázek lenaM.bmp.



Obrázek 2-5: Výběr prahu dle Histogramu.

## 2.2.2 Konvoluce, hranové detektory

Konvoluce je matematická operace, kdy se za pomoci konvoluční masky a vstupního obrazu vypočítá obraz výstupní. V principu jde o to, že pixel v novém obrázku se vypočítá z pixelu starého obrázku a jeho okolních pixelů za pomoci konvoluční masky.

Konvoluce je definována vzorcem (2), kde  $h(x,y)$  je konvoluční maska o rozměru  $(R,S)$ . V programu Matlab lze použít pro výpočet vnitřní funkci *conv2*.

$$g(x,y) = f(x,y) * h(x,y) = \sum_{i=-\frac{S}{2}}^{\frac{S}{2}} \sum_{j=-\frac{R}{2}}^{\frac{R}{2}} f(x-i, y-j) \cdot h(i,j) \quad (2)$$

Rozměry konvoluční masky nabývá nejčastěji hodnot 3x3, 5x5, 7x7. Obecně lze říci: čím větší matice, tím větší odolnost vůči šumu a tím větší početní náročnost, ale zároveň i větší rozostření obrazu. Pomocí vhodně zvolené konvoluční masky můžeme odstranit šum, zvýraznit hrany a posunout obrázek v daném směru.

### 2.2.2.1 Filtrace

Filtrace (odstranění šumu) rozlišujeme na lineární a nelineární filtraci, přičemž lineární rozlišujeme na dolní propust a horní propust. Je-li součet pixelů v konvoluční masce roven nule, jde o horní propust. U dolní propusti je součet pixelů roven jedničce. Dolní propust lze vypočítat klasickým průměrováním, viz zvolené matice ve vzorcích (3). Nelineární filtraci lze řešit například pomocí morfologických operací *Dilatace*, *Eroze*...

$$\text{Avg1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} / 9, \quad \text{Avg2} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} / 11 \quad (3)$$

### 2.2.2.2 Hranové detektory

Hrany v obrazu jsou místem, kde dochází ke skokové změně jasu obrazové funkce. Nejznámější hranové detektory jsou tzv. Robertsův (R), Prewittův (P), Sobelův (S), Robinsonův (Ro), Kirschův (K), Laplaceův se čtyřokolí (L4), Laplaceův s osmiokolí (L8). Viz vzorcové matice (4),(5).

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, P = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}, Ro = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 3 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & -5 \end{pmatrix}, L4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, L8 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Robertsův operátor díky rozměru 2x2 je více náchylný na šum, vhodný pro zvýraznění hran pod úhlem 45° a 135°. Výše zobrazený Operátor Prewittové, Sobelův, Robinsonův a Kirschův jsou navrženy způsobem, kdy detekují vodorovné hrany, překlápěním lze zvýraznit svislé, případně šikmé hrany. Celkem lze matici 3x3 překlápat 8krát, při následné sumaci vypočtených obrázků s těmito maskami získáme obraz se zvýrazněním hran ve všech směrech. Příklad překlápění matice na operátoru Prewittové níže (6).

$$P1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}, P2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}, P3 = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Laplaceův operátor se čtyřokolím a osmiokolím slouží k zaostření obrazu, při čemž nezískáváme informaci o směru hrany. Problém tohoto všesměrového operátoru jest v tom, že má dvojitou odezvu na tenké čáry a je velmi citlivý na šum. Čerpáno z [6], [7], [8].

Pro názornost uvádím níže Obrázek 2-6, na kterém je vidět jak se projeví konvoluční maska Prewittové za pomoci funkce programu Matlab *imfiltre* pro složení ze 2, 4 a 8 překlopení masky. Obrázek vytvořen z originálního obrázku čerpaného z [8]. Na obrázku Obrázek 2-7 je proveden výpočet vertikálních, horizontálních hran a jejich součet za pomoci funkce programu Matlab *conv2*, opět s maskou Prewittové.



Obrázek 2-6: Originál, Prewittová - 2masky, Prewittová - 4 masky, Prewittová - 8 masek.



Obrázek 2-7: Horizontální hrany, Vertikální hrany, Součet hran.

### 2.2.3 Významné body

Významné body obrazu jsou body, v jejichž blízkém okolí dochází k výrazné změně jasu (barvy, kontrastu). Zároveň musí být tyto body možno s určitostí detekovat opakovaně (nejedná se tedy o náhodně zvolený bod). Taková místa jsou často na hranách a rozích objektů v obrazu. V případě spojování dvou a více obrázků (fotografií) je nutné z nalezených významných bodů v každém obrázku nalézt shodné body, tzv. "Korespondenční body". Korespondenční body jsou body, které se shodují ve všech fotografických snímcích, a zároveň se jedná o shodné body v reálné scéně.

Nejznámější jednoduchý rohový detektor z roku 1977 je takzvaný Moravcův operátor, který vymyslel pan Dr. Hans Moravec. Od té doby se stále vyvíjely a vyvíjí nové metody. Z Moravcova operátoru vychází například i Harrisův operátor.

### 2.2.3.1 Moravcův operátor

Moravcův operátor je matematicky definován vzorcem (7). Proměnná  $f(i,j)$  zastupuje pixel původního obrazu a proměnná  $MO(i,j)$  zastupuje pixel výstupního obrazu po použití Moravcova operátoru. Hodnota pixelu  $MO(i,j)$  je vypočtena jako průměr osmi vypočtených masek z osmiokolí pixelu původního obrazu.

$$MO(i,j) = \frac{1}{8} \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} |f(k,l) - f(i,j)| \quad (7)$$

Při výpočtech je nutno ošetřit výpočty na kraji fotografie, aby se nepočítalo s hodnotami za okrajem fotografie, to lze řešit například zmenšením masky dle počtu okolí, případně neprovádět detekci význačných bodů v krajních polohách fotografie. Nutno podotknout: Metoda s Moravcovým operátorem je početně nenáročná, ale má mnoho záporů, například je citlivá na šum a reaguje na hrany. Čerpáno z [3],[10],[11].

### 2.2.3.2 Harrisův operátor

Harrisův operátor oproti Moravcovu používá kruhová okénka (místo obdélníkového), čímž je zvýšena odolnost proti šumu a zároveň je více odolný na natočení obrázku. Další problém Moravcova operátoru spočívá v anizotropní odezvě (schodovitosti). Tento problém lze odstranit funkcí, která měří změnu intenzity v okolí bodu ve všech směrech, což umožňuje autokorelaci funkce (8).

$$E(x,y) = \min \sum_{(x,y) \in No} (f(x,y) - f(x + \Delta x, y + \Delta y))^2 \quad (8)$$

Kde  $f(x,y)$  zastupuje hodnoty pixelů obrázku,  $\Delta x$  a  $\Delta y$  jsou posuny okénka. Aproximací  $f(x + \Delta x, y + \Delta y)$  pomocí Taylorova rozvoje získáme rovnici:

$$f(x + \Delta x, y + \Delta y) \approx f(x,y) + \left( \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \right)^T \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \quad (9)$$

Tuto rovnici dosadíme do rovnice (8) a získáme rovnici (10):

$$\begin{aligned} E(x,y) &= \min \sum_{(x,y) \in No} \left( f(x,y) - \left( f(x,y) - \left( \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \right)^T \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \right) \right)^2 \\ &= \sum_{(x,y) \in No} \left( - \left( \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \right)^T \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \right)^2 \\ &= \sum_{(x,y) \in No} \left( \left( \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \right)^T \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \right)^2 \end{aligned}$$



$$= \sum_{(x,y) \in No} (\Delta x, \Delta y) \left( \left( \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \right) \left( \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \right)^T \right) \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix}$$

$$Emin(x,y) = (\Delta x, \Delta y) M(x,y) \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$M(x,y) = \begin{bmatrix} \sum_{(x,y) \in No} \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial^2 x} & \sum_{(x,y) \in No} \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \\ \sum_{(x,y) \in No} \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} & \sum_{(x,y) \in No} \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial^2 y} \end{bmatrix} \quad (11)$$

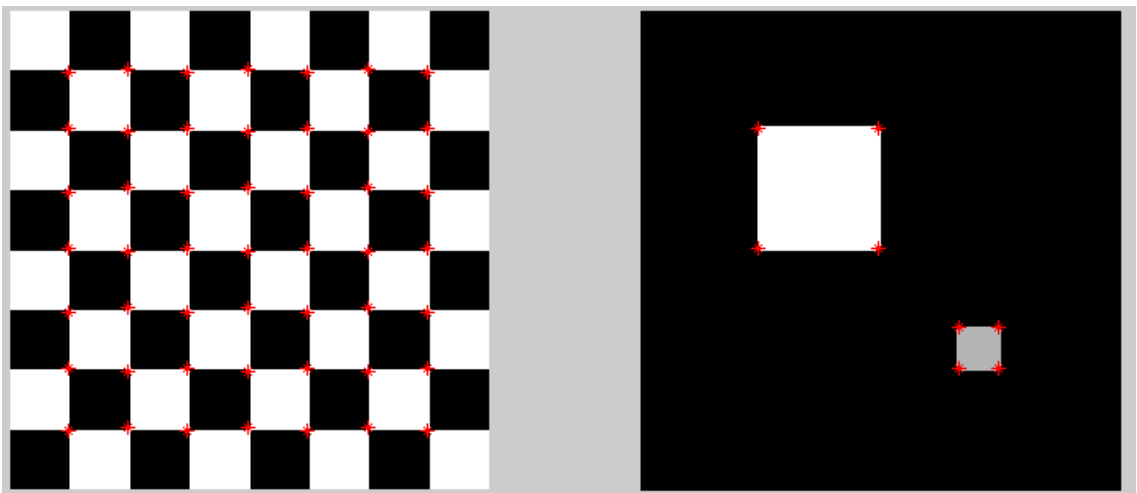
Matice  $M(x,y)$  obsahuje všechny diferenční operátory. Z vlastních čísel lze určit křivost plochy v okolí bodu  $(x,y)$ . To může posloužit k určení významnosti daného bodu, jestli se jedná o hranu nebo roh. Vlastní čísla matice  $M(x,y)$  označme jako  $\lambda_1$  a  $\lambda_2$ . Mohou nastat 3 stavy, dle kterých se zjišťuje významnost bodu:

- $\lambda_1$  a  $\lambda_2$  jsou relativně velká  $\Rightarrow$  okolí bodu relativně ploché  $\Rightarrow$  nejedná se o významný bod.
- Jedna  $\lambda$  Velká, druhá  $\lambda$  malá  $\Rightarrow$  Jedná se o hranu
- $\lambda_1$  a  $\lambda_2$  jsou velká  $\Rightarrow$  v okolí bodu křivost ve více směrech  $\Rightarrow$  jedná se o roh, nebo izolovaný bod.

Získat významné body můžeme pomocí vyhledávání maxima v mapě „rohovitosti“  $R$ , viz vzorec (12). Kde *trace* je velikost matice  $M$  (počet prvků v diagonále matice) a  $k$  jest parametr, který volíme v intervalu  $<0.04, 0.15>$ . Čerpáno z [3],[9],[11].

$$R(x,y) = \det(M) - k \cdot \text{trace}^2(M) \quad (12)$$

V programovém prostředí Matlab existuje funkce *corner*, která má v defaultním nastavení Harrisův detektor a zároveň nám umožňuje nastavit maximální počet hledaných významných bodů (defaultní nastavení 200). Pro příklad uvádím obrázek Obrázek 2-8, kde je vidět nalezení významných bodů.



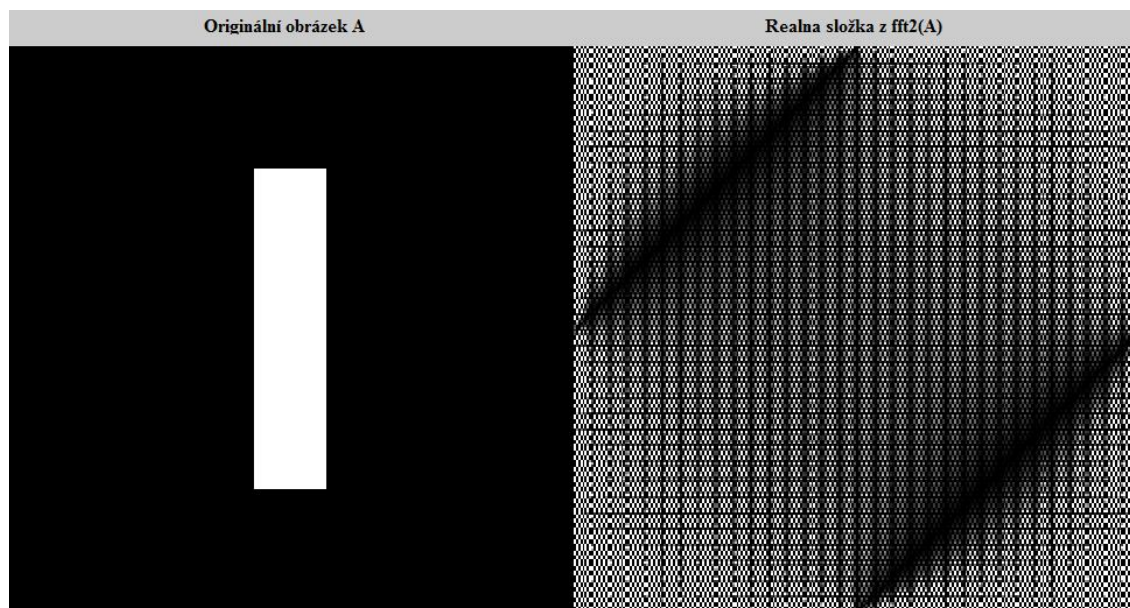
Obrázek 2-8: Detekce významných bodů u šachovnice a u čtverců.

## 2.3 Frekvenční spektrum obrazu

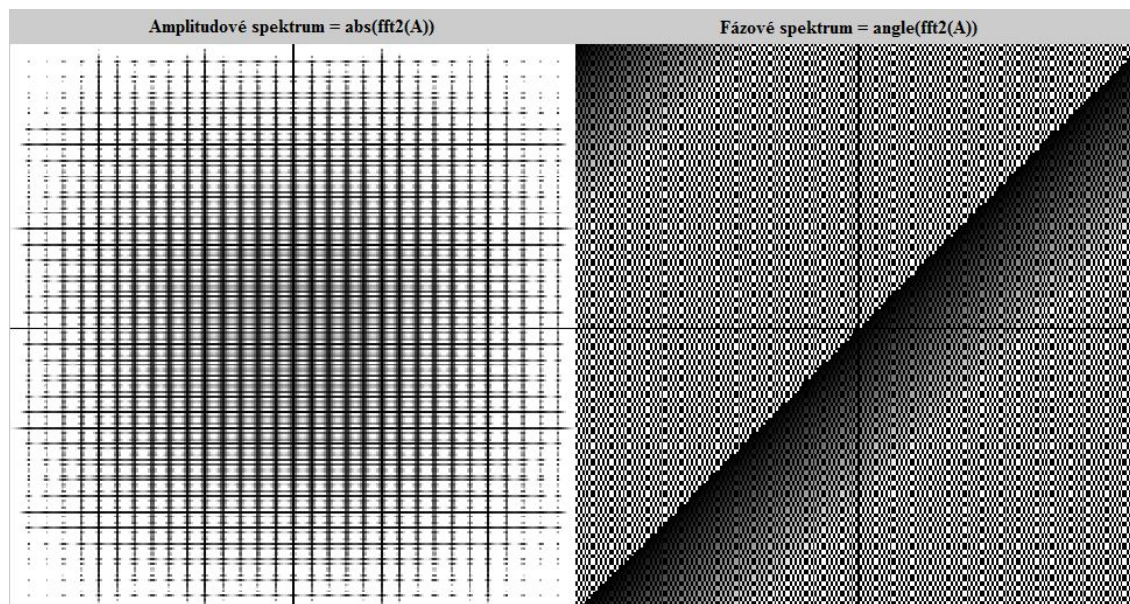
Obecně lze filtraci provádět v prostorové (časové) oblasti, nebo ve frekvenční oblasti. Do frekvenční oblasti se dostaneme přepočtem některé lineární integrální transformace. U práce s obrázky se nejčastěji používá 2D Fourierova transformace, která vychází z jednoduché FT, jež popisuje obraz proměnných pomocí integrální transformace a převádí je na součet sinusových signálů, za pomoci vhodných frekvencí a amplitud. Dvourozměrná FT převádí originální obraz signálu na frekvenční spektrum obrazu. Diskrétní obraz lze analyzovat pomocí diskrétní Fourierovy transformace DFT, jež lze definovat pro 2D obraz vztahem (13):

$$F(u, v) = \sum_{y=0}^{R-1} \sum_{x=0}^{S-1} f(x, y) \cdot \exp(-2\pi j \cdot [\frac{x \cdot u}{S} + \frac{y \cdot v}{R}]) \quad (13)$$

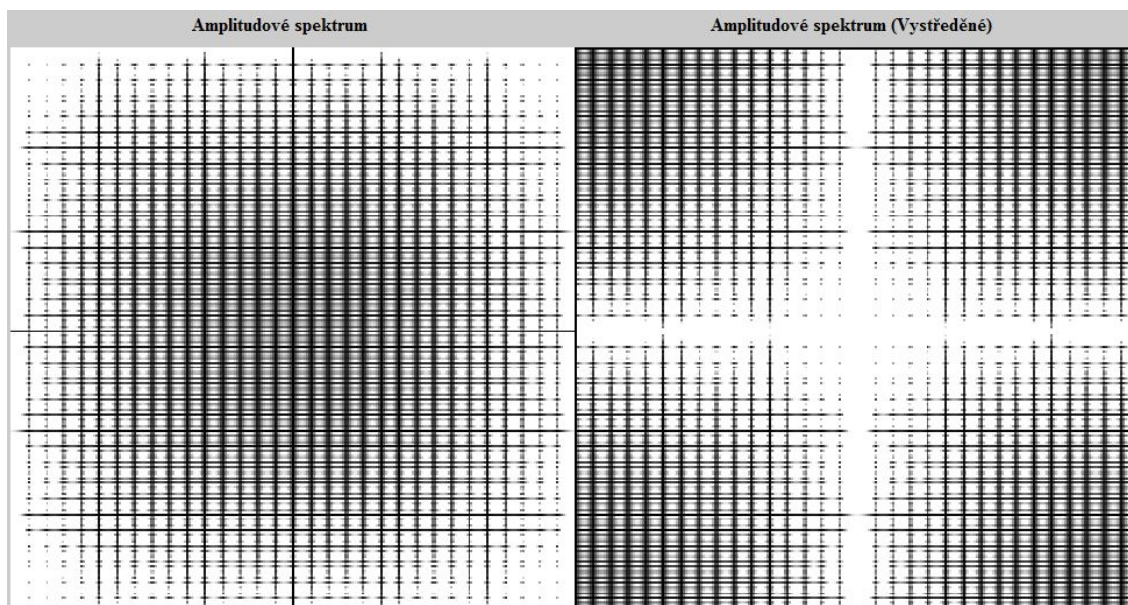
Kde  $F(u, v)$  je hodnota pixelu ve frekvenčním spektru obrazu,  $f(x, y)$  je hodnota pixelu v původním obrazu,  $R$  a  $S$  zastávají rozměr původního obrazu. Frekvenční souřadnice  $(u, v)$  nabývají hodnoty od nuly do  $(S, R)$ . Hodnoty pixelů  $F(u, v)$  jsou komplexní čísla, ze kterých lze snadno získat amplitudové spektrum a fázové spektrum. Z frekvenčního spektra obrazu lze například zjistit úhel pootočení dvou obrázků se znalostí středu otáčení, posun mezi dvěma obrázky. Občas se převádí frekvenční spektrum do výkonového spektra. Toto spektrum lze získat vynásobením komplexních čísel komplexně sdruženými čísly. V programovém prostředí Matlab existuje pro převedení obrazu do frekvenčního spektra funkce `fft2`. Dále je potřeba pro správné zobrazení amplitudového spektra provést prohození čtverců (posunutí vysokých frekvencí na střed) například pomocí funkce `fftshift`. Názorný Obrázek 2-9 a Obrázek 2-10 zobrazují originální obrázek A, jeho vypočtené frekvenční spektrum, a jednotlivé složky frekvenčního spektra (Re, Im, Amplituda, Fáze). Na obrázku Obrázek 2-11 je vyobrazena dvakrát amplituda frekvenčního spektra, s tím rozdílem, že vpravo proběhlo posunutí frekvenčního spektra (prohození čtverců) výše zmíněnou funkcí `fftshift`.



Obrázek 2-9: Obrázek Frekvenčního spektra syntetického obrázku.



Obrázek 2-10: Obrázek Frekvenčního spektra a jeho složky.

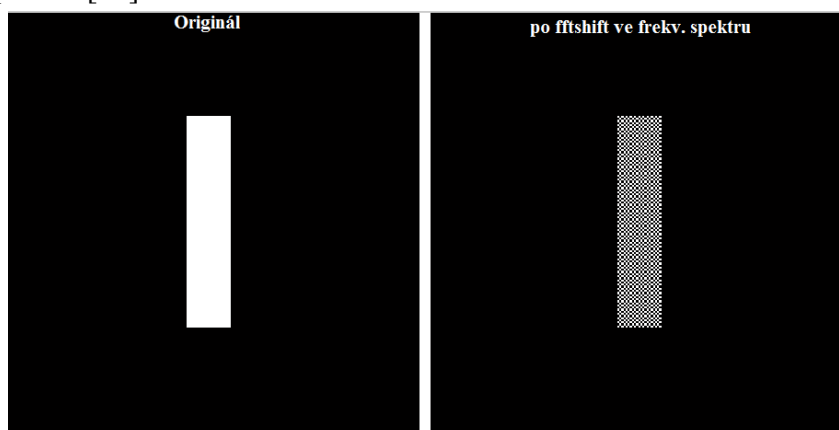


Obrázek 2-11: Amplitudové spektrum (vlevo), vycentrované Amplitudové spektrum.

Po provedení filtrace, případně jiných matematických operací je pro zobrazení obrazu potřeba provést zpětnou Fourierovu transformaci, která je definována vzorcem (14):

$$f(x, y) = \frac{1}{R \cdot S} \cdot \sum_{y=0}^{R-1} \sum_{x=0}^{S-1} F(u, v) \cdot \exp \left( 2\pi j \cdot \left[ \frac{x \cdot u}{S} + \frac{y \cdot v}{R} \right] \right) \quad (14)$$

Nutno podotknout, pokud bylo frekvenční spektrum v průběhu matematických operací posouváno (*fftshift*), je třeba provést před provedením zpětné transformace i zpětnou transformaci posunutí, což umožňuje v programu Matlab funkce *ifftshift*. Obrázek 2-12 ukazuje, jak může dopadnout výsledný obrázek, při zapomenutí na zpětné posunutí spektra. Čerpáno z [12]



Obrázek 2-12 Obrázek s chybou vzniklou zapomenutím na zpětné posunutí spektra.

### 3 SYNTÉZA OBRÁZKŮ

K tomu aby byl program schopen sloučit dva obrázky, musí správně nalézt korespondenční body, musí zvládnout vyřešit pootočení objektu v osách, a případně provést vyrovnání rozměrů (měřitek) objektů. Principů existuje mnoho.



### 3.1 Fázová korelace

Pomocí fázové korelace lze vyřešit problém posunutých obrázků, otočených obrázků a kombinací otočení s posunem obrázků. Níže si názorně ukážeme jeden z možných principiálních postupů, kdy si poradíme s neznalostí středu otáčení, úhlu otočení a posunu.

#### 3.1.1 Princip:

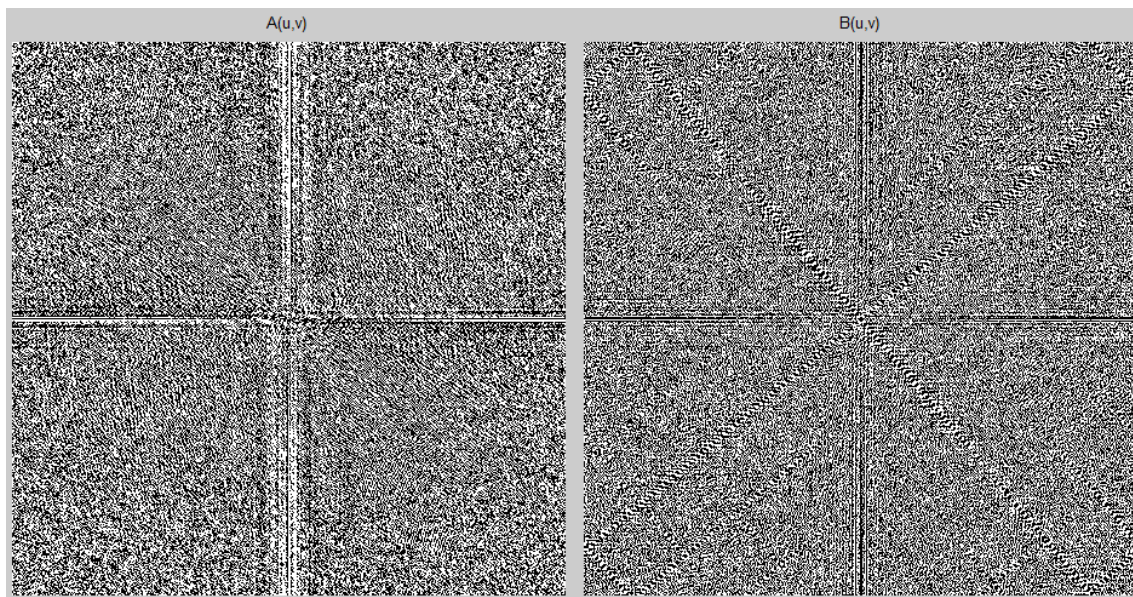
Máme dva obrázky  $a(x,y)$  a  $b(x,y)$ , kde obrázek  $b(x,y)$  je otočená kopie obrázku  $a(x,y)$  o určitý úhel, střed rotace ani úhel rotace neznáme.



Obrázek 3-1: Obrázek  $a(x,y)$  vlevo a jeho otočená replika  $b(x,y)$  vpravo.

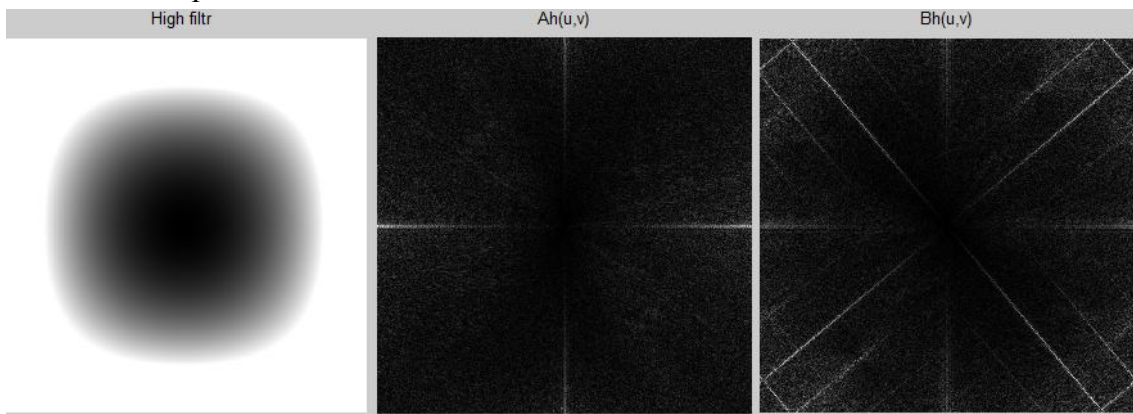
##### 3.1.1.1 Hledání úhlu rotace

Nejprve vypočítáme frekvenční spektrum  $A(u,v)$  a  $B(u,v)$  ze vstupních obrazů  $a(x,y)$  a  $b(x,y)$ . Přepočet možno porovést výše zmíněným vzorcem (13), nebo funkcí *fft2*. Posuneme frekvenční spektrum prohozením čtverců (přesun vysokých jasových složek z rohu na střed), *fftshift*.



Obrázek 3-2: Frekvenční spektra obrázků A(u,v) vlevo, B(u,v) vpravo.

Nalezené frekvenční spektrum obsahuje různé šumy, které mohou ovlivnit hledání středu otáčení. Šum lze odstranit například konvoluční maskou vysokopásmového filtru o stejném rozměru, jako vstupní obrázek. Obrázek 3-3 zobrazuje, jak se projeví filtrace na výše zobrazeném frekvenčním spektru. Dílčí výpočet uveden ve vzorci (15), kde H je filtrační matice, která je násobena prvek po prvku maticí absolutní hodnoty frekvenčního spektra.

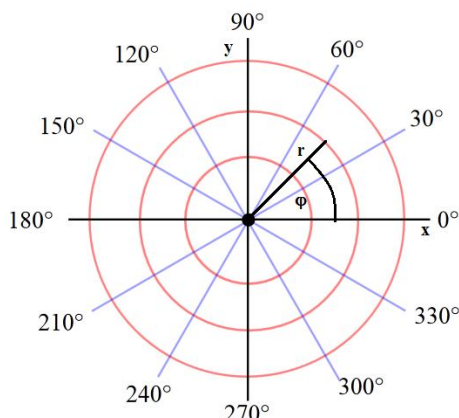


Obrázek 3-3: High filtr (vlevo), Ah(u,v) vyfiltrované A(u,v) (střed), Bh(u,v) vyfiltrované A(u,v).

$$Ah(u, v) = H \cdot |A(u, v)| \quad (15)$$

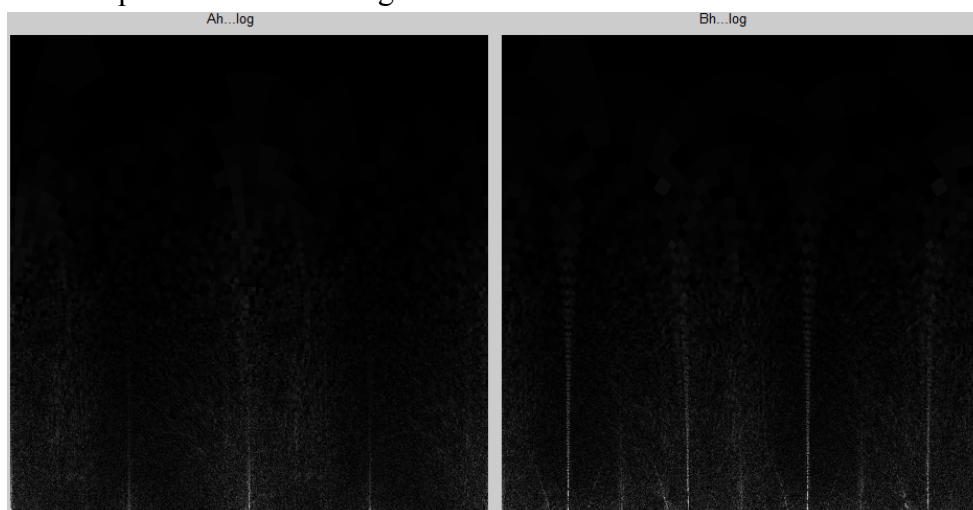
V tuto chvíli přichází na řadu transformace z kartézského systému souřadnic do polárních logaritmických souřadnic. Stupnici osy  $\phi$  vypočítáme jako lineární řadu od 0 do šířky vstupního obrázku ( $a(x,y)$ ) s krokem  $2\pi$ . Stupnici osy  $r$  vypočítáme jako dekadickou logaritmickou lineární řadu od  $\log(1)$  po  $\log(\text{výška vstupního obrazu})$  s krokem  $\log(\text{střed vstupního obrazu})$ . Po této akci se provede zpětný převod do kartézské soustavy vzorcem (16), kde se přičítá střed ( $S(x,y)$ ) původního obrázku. Níže uvádím ilustrativní obrázek pro ukázkou souvislosti mezi souřadnicovými systémy Obrázek (3-4).

$$xx = r * \cos(\varphi) + S(x), yy = r * \sin(\varphi) + S(y) \quad (16)$$



Obrázek 3-4: Ilustrativní obrázek k převodu kartézské soustavy a Polární soustavy.

Z vypočítaných kartézských souřadnic  $xx$  a  $yy$ , interpolujeme 2D interpolací obrazy  $A_h(u,v)$  a  $B_h(u,v)$ . 2D – interpolaci umožňuje funkce programu Matlab *interp2*. Tím získáme Obrázek 3-5, na kterém je vidět interpolovaný obraz vyfiltrovaného amplitudového spektra kartézskou logaritmickou souřadnicovou soustavou.



Obrázek 3-5: Interpolované obrazy  $A_{hi}$  (vlevo) a  $B_{hi}$  (vpravo) logaritmickými souřadnicemi.

V tuto chvíli se můžeme pustit do fázové korelace obrazů. Vypočítáme úhlové spektra  $a_1$ ,  $a_2$  z frekvenčního spektra  $A_{hi}$  a  $B_{hi}$ . Z úhlového spektra vypočítáme křížení vzorcem (17). Výsledná fáze (Phase) je reálná složka převedeného křížení zpětnou Fourierovou transformací, ukázka zápisu vzorce do programu Matlab (18).

$$Cross = \exp(i * (a_1 - a_2)) \quad (17)$$

$$Phase = \text{real}(\text{ifft2}(Cross)) \quad (18)$$

Ve vypočítané matici Phase najdeme maximální hodnotu a její souřadnice (X, Y). Vypočítáme normalizaci úhlu ( $360^\circ/\text{počet sloupců Phase}$ ). Výsledný úhel Theta, o který je otočen obrázek  $b(x,y)$  od  $a(x,y)$ , vypočítáme vynásobením normalizace souřadnicí Y poníženou o 1. Nutno podotknout, že zjištěná Theta může být ve skutečnosti posunutá o



180°, to znamená, že budeme muset prověřit dvě možná řešení. Tento problém budeme řešit v první části kapitoly 3.1.1.2.

### 3.1.1.2 Správný úhel, posun, slícování

Vytvoříme dva nové obrázky  $b_1(x,y)$  a  $b_2(x,y)$  otočením obrázku  $b(x,y)$  pomocí funkce *imrotate* o záporný úhel  $\Theta$ , a záporný úhel  $\Theta+180^\circ$ . Výsledek ukazuje Obrázek 3-6.



Obrázek 3-6: Zleva obrázek  $a(x,y)$  a jeho rotovaná kopie  $b_1(x,y)$  a  $b_2(x,y)$ .

Obrázky  $b_1(x,y)$  a  $b_2(x,y)$  přepočítáme do frekvenčního spektra  $B_1(u,v)$  a  $B_2(u,v)$ . Následně pro obě možné varianty vypočteme fázovou korelaci křížení s  $A(u,v)$  výše zmíněnými vzorci (17), (18). O tom, zda je správně  $b_1(x,y)$  nebo  $b_2(x,y)$ , rozhodne porovnání maximálních hodnot z vypočtených fází Phase1 a Phase2. Pokud je Phase1 větší než Phase2, je správně otočen obraz  $b_1(x,y)$ , v ostatních případech se jedná o  $b_2(x,y)$ .

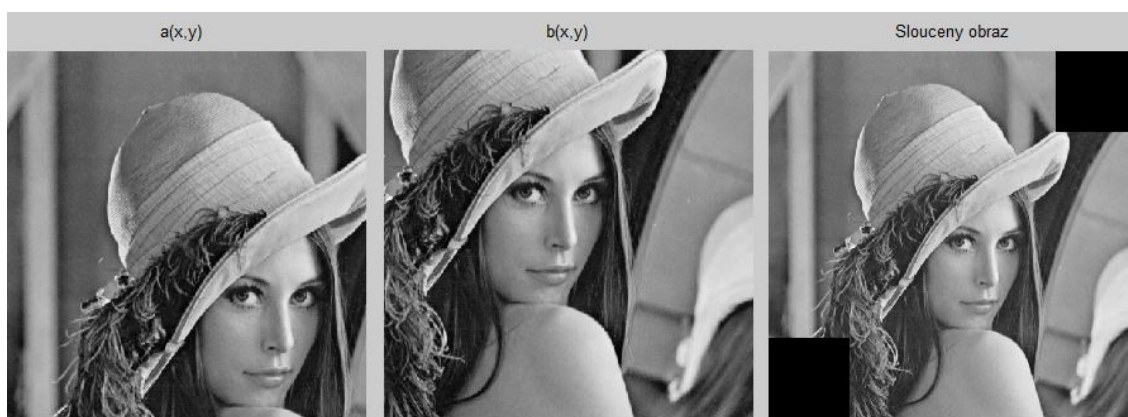
V tuto chvíli už jde pouze o provedení změřeného posunu a o posunutí obrázku. Ze zjištěné správné fáze (v našem případě Phase1) získáme souřadnice maximální hodnoty  $(X,Y)$ . Když  $X$  je větší než polovina obrazu, pak posunutí  $T_x$  je  $X-1$  ponížené o polovinu obrazu, jinak je posunutí  $T_x$  rovno  $X-1$ . Obdobně řešen posun  $T_y$ . Vytvoříme si podklady s hodnotami 0 pro sloučení obrázků zvětšený o  $T_x$  a  $T_y$ , pro každý obrázek jeden. Nyní už se na základě velikostí a znamének  $T_x$  a  $T_y$  umístí jednotlivé obrázky na odpovídající místo ve svém podkladu. Na závěr se oba nové obrázky překryjí přes sebe a sloučí. Například dva překrývající se nenulové prvky průměrujeme, nenulový a nulový prvek sečteme. Výsledný nový obrázek získáme zpětnou Fourierovou transformací. Náš výsledek zobrazuje Obrázek 3-7. Popisovaný pracovní postup vychází z [13], [14] a [15], přepočet polárních souřadnic vychází z [14].



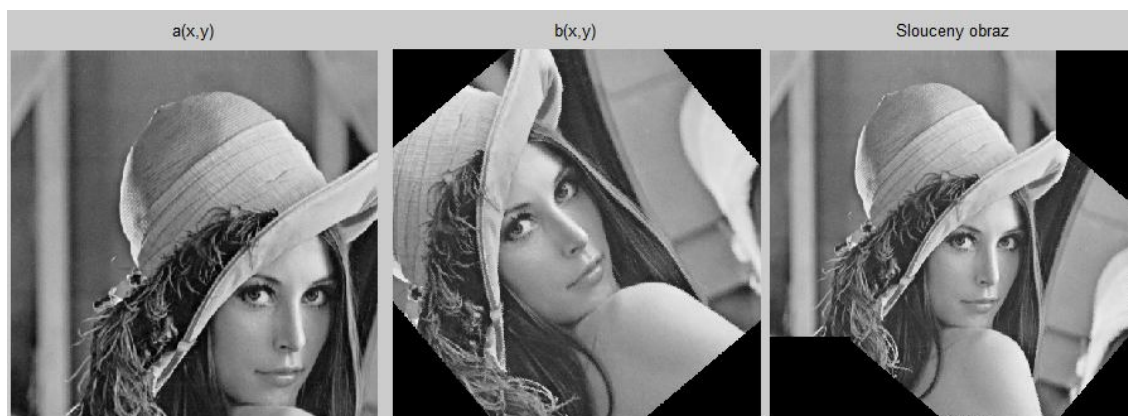


Obrázek 3-7: Sloučení  $a(x,y)$  a rotovaného  $b(x,y)$ , výsledek vpravo.

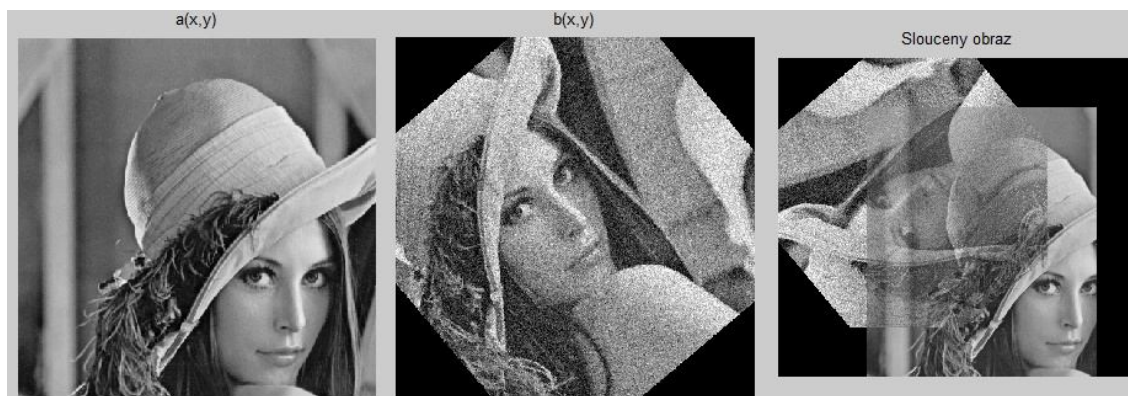
### 3.1.2 Ukázky výsledků zmíněného principu.



Obrázek 3-8: Posunuté obrázky  $a(x,y)$  a  $b(x,y)$ , sloučení (vpravo).



Obrázek 3-9: Sloučení posunutých a rotovaných obrázků.



Obrázek 3-10: Neodolnost vůči šumu (použit gausův šum)

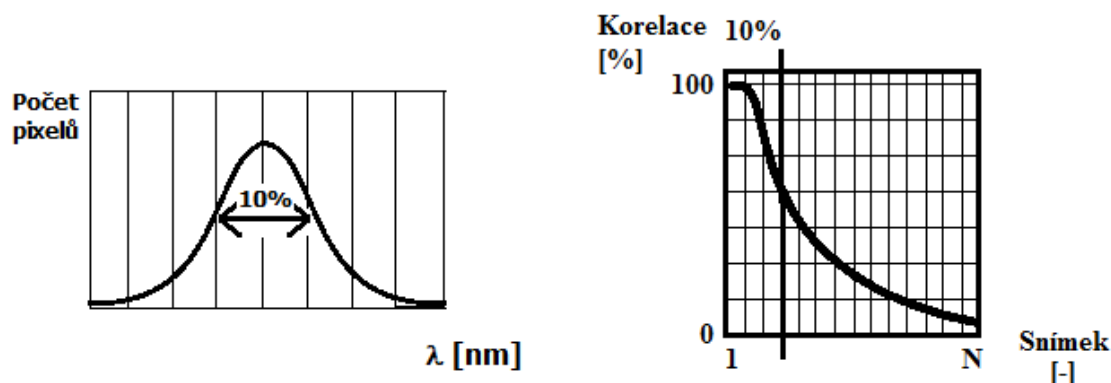
## 4 ASTRONOMICKÉ SNÍMKY

Astronomické snímky podléhají mnoha úskalím, která ovlivňují kvalitu výsledného obrazu. Kvalita obrazu je ovlivněna světelnými podmínkami při pořizování snímku. Světelnost ovlivněna místem, kde byl snímek vytvořen. Neboť města reflektují světlo do oblohy, čímž dochází ke světelnému zašumění oblohy a zhoršení viditelnosti slabých objektů. Tento efekt se dá řešit nalezením místa v dostatečné vzdálenosti od měst, případně vhodným filtrem vlnových délek rušivého světla. Pro získání ostrého snímku při nočních scénách je třeba dostatečně dlouhá doba expozice (snímání). Ta je ovšem ovlivněna právě aktuálními světelnými podmínkami, což nám omezuje zmíněné světelné zašumění oblohy. Nejpodstatnějšími problémy jsou atmosférické změny (vlhkostní, turbulentní-blikání,...) a samotný posun oblohy, jež nám lokálně/globálně deformují snímek. Atmosférický vliv lze snížit zkrácením expozice snímání, čímž ale zároveň snižujeme schopnost zaznamenání slabších objektů. Pohyb oblohy lze odladit mechanickým posunem snímací soustavy.

### 4.1 Filtrace „Lucky imaging“

Tato filtrační metoda slouží pro výběr několika nejlepších snímků z velké množiny snímků (například 10% ze 100 snímků). Slícováním vybraných snímků vzniká kvalitnější výsledek. Při pořízení snímků s hodně krátkou expozicí (např. 100 $\mu$ s) jsou zaznamenané atmosférické vlivy především lokální. Tyto lokální změny jsou převážně vyfiltrovány zpracováním metodou „Lucky imaging“. Čerpáno z [16].

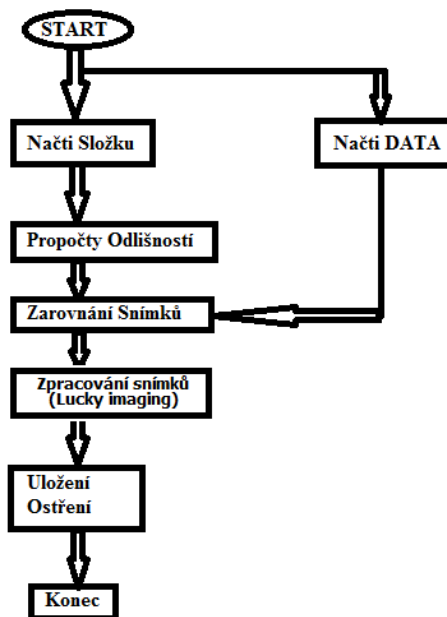
Jedním z kritérií pro výběr snímků může být četnost výskytu konkrétních jasových vlnových délek zachycených na snímku, což je graficky vyobrazeno na obrázku Obrázek 4-1 vlevo. Další možný způsob výběru může být založen na hledání korelačních shod mezi referenčním snímkem a náhodně vybraným snímkem z množiny snímků, viz: Obrázek 4-1 vpravo.



Obrázek 4-1: Grafické náznaky metod pro výběr 10% snímků.

## 5 VYTVOŘENÝ PROGRAM

Na základě zadání bakalářské práce byl vytvořen program v programovém prostředí Matlab. Program lze principiálně rozdělit do několika dílčích bloků, což je zachyceno v algoritmu na obrázku obrázek 5-1.



Obrázek 5-1: Principiální algoritmus vytvořeného programu.

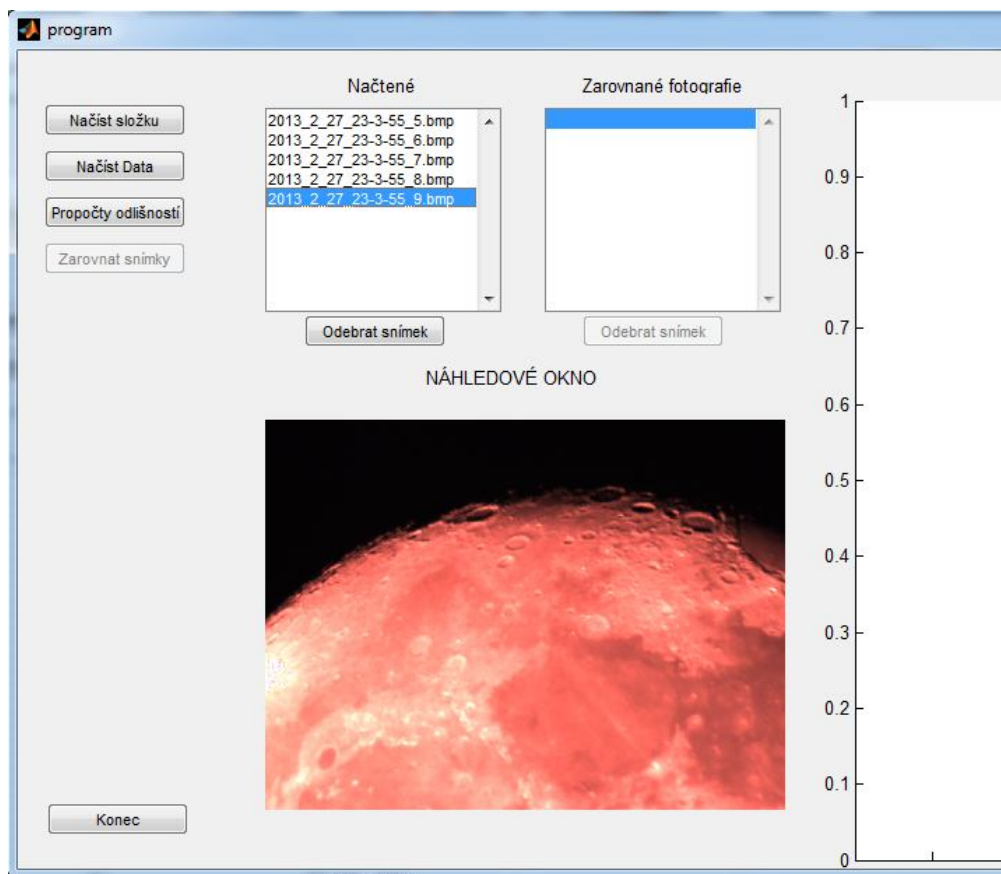
### 5.1 Načtení a zarovnání snímků

Nejprve je třeba načíst vstupní fotografie, čehož lze dosáhnout dvěma způsoby. Mezi podporované typy obrázků patří: *bmp*, *png*, *jpg*, *gif*, *tif*.

První způsob nahrávání fotografií umožňuje tlačítko *Načíst složku*. Po stisknutí tlačítka jsme programem vyzváni k zadání složky s fotografiemi pro zpracování. Ze zvolené složky jsou překopírovány všechny obrázky do programové složky *nactene*, což nám chrání původní snímky před ztrátou a usnadňuje následnou manipulaci odebírání

snímků. Překopírované snímky můžeme vykreslit v náhledovém okně (viz obrázek 5-2) a na základě vlastního uvážení můžeme libovolný snímek odstranit z programu. Pro další práci musíme propočítat všechny potřebné vlastnosti mezi vstupními snímky. Jedná se o korelační shody, rotaci, posuny v osách a rozměry snímků (*KOREL*, *ROT*, *DX*, *DY*, *VX*, *VY*). Vlastnosti vypočítáme stisknutím tlačítka *Propočty vlastností*. Provedením výpočtů získáme 6 tabulek hodnot každý s každým. Tabulky jsou uloženy v samostatných listech v jednom excelovském souboru pod názvem *VstupniPROPOCTY.xls*. Soubor je exportován do složky, ze které byly překopírované vstupní fotografie, pro rychlou možnost návratu k dříve rozpracované práci s fotografiemi. V tomto okamžiku můžeme stisknout tlačítko *Zarovnat snímky* (vysvětlení tlačítka ve 3 odstavci).

Druhý způsob nahrání fotografií umožňuje tlačítko *Načíst data*. V principu se vracíme ke skupině snímků, které jsme již v minulosti zpracovávali. Program nás vyzve k zadání souboru uložených dat. Na základě dat souboru jsou načtené snímky do programové složky a načtou se propočty. Buď můžeme načíst soubor s příponou *.mat*, který musí být uložen ve složce s aktuálními snímky, pro které byla data potřebná pro zarovnání vypočtena. Tento soubor nese informaci o snímcích ve složce pouze pořadím uložených hodnot v tabulkách, a proto musí být ve složce pouze aktuální snímky (chybějící/přebývající snímky jsou neošetřený problém!). Nebo můžeme načíst soubor *VstupniPROPOCTY.xls*, který je také umístěn ve složce spolu se snímky. Nicméně jsou v souboru uloženy přesné názvy snímků, proto lze načítat z většího počtu snímků (chybějící/přebývající snímek by neměl činit problém). V tomto okamžiku můžeme stisknout tlačítko *Zarovnat snímky*.



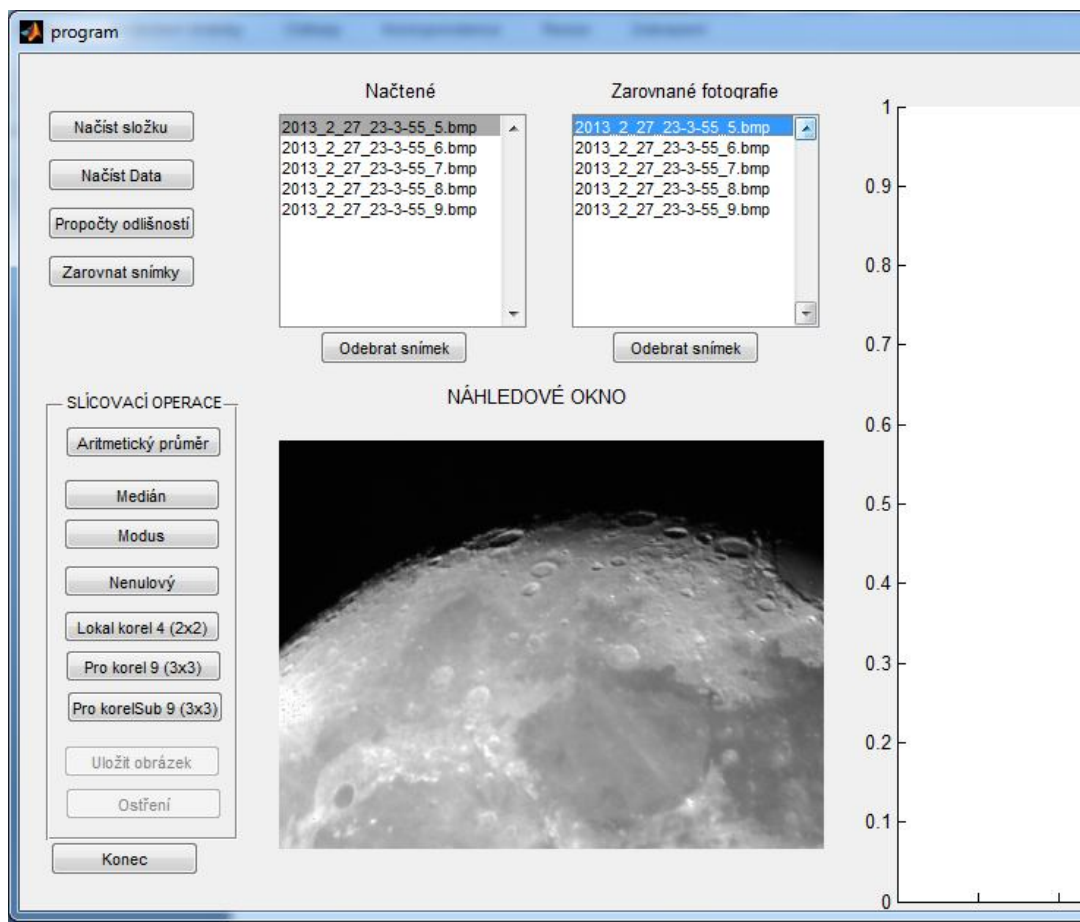
Obrázek 5-2: Program - načtení složky obrázků

Tlačítko *Zarovnat snímky* vybere z výše vypočítaných vlastností snímků (tabulek) referenční snímek. Referenční snímek program volí jako snímek, který má nejmenší sumu posunů  $dx$  a  $dy$  mezi ostatními snímky, což je obvykle středový snímek. Stanovením referenčního snímku je vybrán konkrétní sloupec hodnot v každé tabulce ( $DX$ ,  $DY$ ,  $ROT$ ,  $KOREL$ ,  $VX$ ,  $VY$ ). Vzniká nová tabulka *Tab1.mat* na základě které se provede zarovnání snímků. Zarovnané snímky jsou uloženy v nové programové složce *zarovnané*. Díky tomu je možné se vracet k načteným snímkům a zároveň máme možnost porovnávat změny snímků před a po zarovnání. Opět můžeme vlastním rozumem vyřadit některý ze zarovnaných snímků. Z tabulky *Tab1.mat*, později program provádí export do souboru *Hodnoty\_zarovnani.xls*.

## 5.2 Zpracování snímků („Lucky imaging“)

Po provedení zarovnání snímků nám již nic nebrání v slícování snímků. Nyní přichází na řadu výběr vhodné metody pro programové vyfiltrování a slícování obrázků. Můžeme problém rozdělit na klasické průměrování a na složitější metody s „Lucky imaging“. V programu se zviditelnil panel *SLÍCOVACÍ OPERACE* (viz.: obrázek 5-3). Zároveň se nám vykreslil v náhledovém okně graf korelační shody zarovnaných snímků k referenčnímu snímku. Graf je jen orientační a při prvním výběru položky v seznamu obrázků je překreslen.





Obrázek 5-3: Zarovnané snímky, zaktivovaný panel pro operace slícování

### 5.2.1 Průměrové metody

Do této kategorie zařazují průměrové metody pro slícování vstupní množiny snímků bez filtrační metody „Lucky imaging“.

- Aritmetický průměr: počítá aritmetický průměr ve frekvenčním spektru. V časovém spektru nelze aplikovat, dochází k přesvětlení snímku.
- Medián: funkce lze provést, dokud nebyl odebrán snímek ze složky zarovnaných snímků. Funkce nejprve provádí seřazení snímků dle vypočítané korelace vůči referenčnímu snímku. Výsledkem je prostřední snímek, v případě sudého počtu zprůměruje prostřední dva snímky. Tato metoda pro nás nemá moc význam.
- Modus: funkce slícuje největší skupinu snímků se stejnou korelační hodnotou. Pro naše vstupní snímky je funkce celkem nepoužitelná. Jelikož korelační odchylky používaných snímků vychází obvykle až na čtvrtém desetinném místě.
- Nenulový: tato funkce počítá principiálně aritmetický průměr s tím rozdílem, že nedělí počtem snímků, ale počtem nenulových pixelů v daném bodě.

## 5.2.2 Metody s „Lucky imaging“

V této skupině funkcí dochází k rozebírání zarovnaných snímků do submatic. Tyto submatice jsou pak postupně podrobovány filtraci „Lucky imaging“. Vypočítá korelace skupiny submatic. Vezme se maximální a minimální korelační hodnota a podělí se dvěma, tím získáváme střední korelační hodnotu. Výsledně se pro slícování vyberou snímky s větší, nebo rovnou korelační hodnotou vypočítané střední hodnotě. Výsledný snímek je poskládán z výsledných submatic.

### 5.2.2.1 Lokální korelace 4 (2x2)

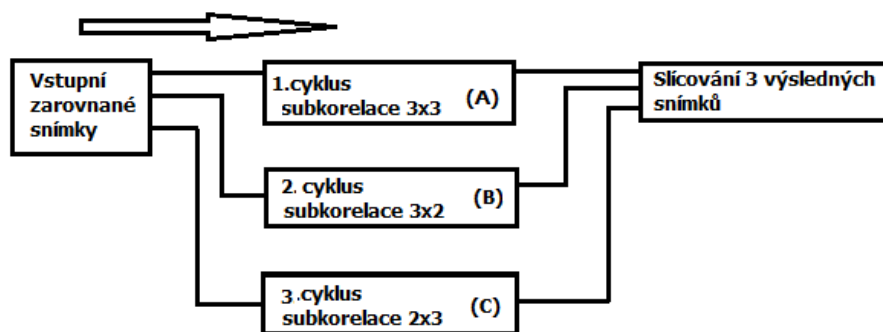
Tato funkce rozdělí snímky na 4 submatice a provede výše popsané slícování. Nevýhoda této funkce spočívá v tom, že mohou vzniknout ve výsledném snímku zdvojení u sousedících stran submatic, jelikož je výběr snímků vždy lokální (závislé na charakteru vstupního obrázku a výraznosti atmosférických defektů na snímku).

Princip rozdělení snímku na 4 submatice a následné slícování bez použití „Lucky imaging“ je v programu automaticky používán u větších snímků z důvodu výpočetní náročnosti na paměť. Tím se na druhou stranu doba výpočtů jednotlivých funkcí prodlouží, ale výpočet proběhne úspěšně. Pokud má jedna strana snímku rozlišení 2000 pixelů a víc, proběhne zmíněný postup. Jelikož neprobíhá užší výběr snímků, neprojevuje se aplikování metody na výstupním snímku defekty v oblasti společných hran submatic.

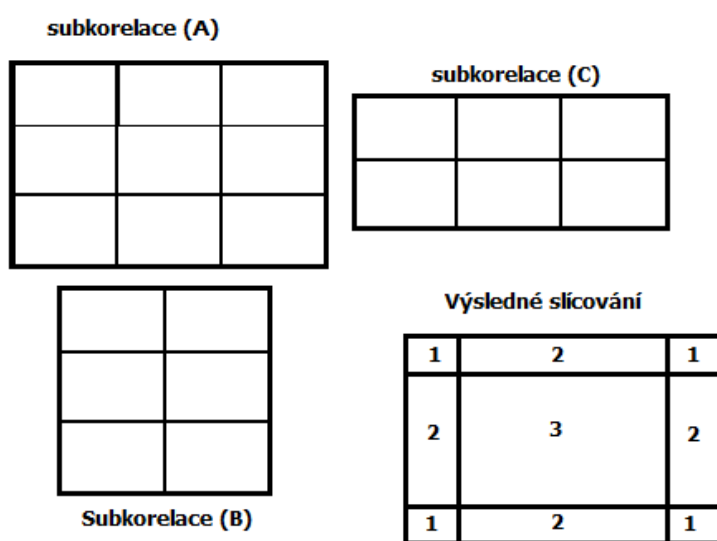
### 5.2.2.2 Pro korel 9 (3x3)

Algoritmus této funkce je zachycen na obrázku obrázek 5-4. Na obrázku obrázek 5-5, jsou zachyceny jednotlivé řezy submatic. První cyklus výpočtů probíhá z načtených snímků, počítá se jako lokální korelace 3x3 submatice a výsledný obrázek je uložen v mezi paměti. Následuje druhý cyklus výpočtů, který opět probíhá ze vstupních snímků, tentokrát lokální korelace 3x2 submatice. V principu se jedná o složení snímku z posunutých submatic o polovinu submatice doprava, čímž se ve výsledném obrázku vyruší vertikální defekty u hran sousedících submatic vzniklé výpočtem v prvním cyklu. Výsledek je opět uložen v mezi paměti. Třetí cyklus probíhá obdobně. U načtených vstupních snímků se protentokrát počítá lokální korelace 2x3 submatice. V tomto případě jsou submatice posunuty o polovinu své velikosti dolů, čímž jsou ve výsledném slícovaném obrázku kompenzované horizontální defekty hran sousedících submatic z výpočtů prvního cyklu. Výsledek opět uložen v mezi paměti.

Nyní nastává čas slícovat tři výsledné snímky, které musíme vůči sobě správně zarovnat a provedeme aritmetický průměr jednotlivých překrývajících oblastí. Problematika naznačena v obrázku obrázek 5-5 vpravo dole.



Obrázek 5-4: principiální blokové schéma funkce prokorelace



Obrázek 5-5: Rozdělení vstupního snímku na jednotlivé submatice a výsledné slícování

### 5.2.2.3 Pro korelSub 9 (3x3)

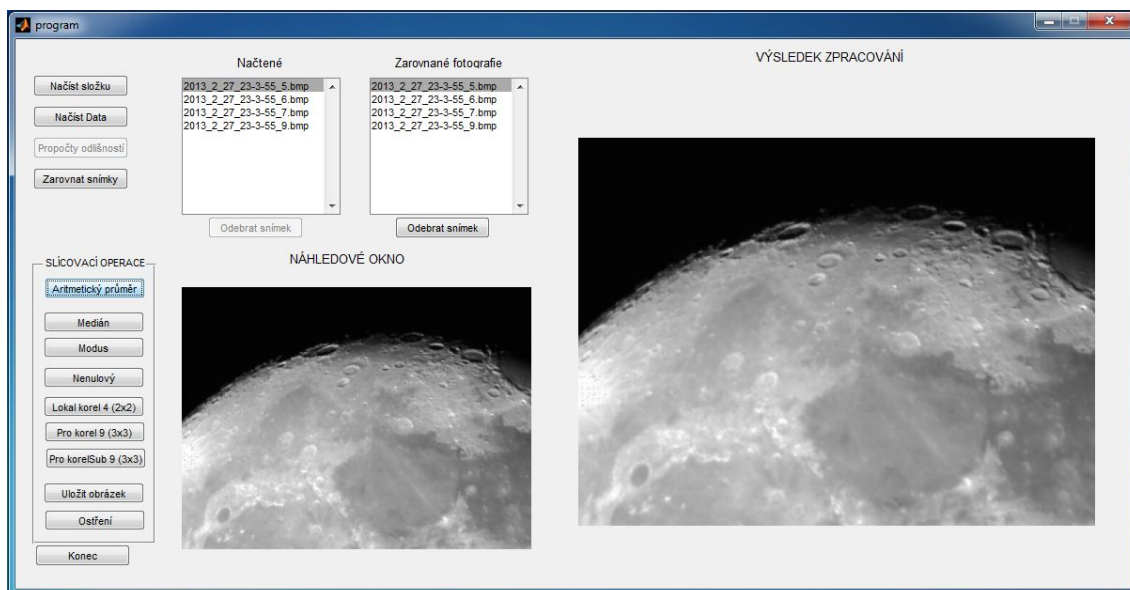
Tato funkce je kombinací dvou výše popisovaných metod. V principu je vstupní obrázek rozdělen do 4 submatic. V každé submatici se provádí výpočet *Pro korel 9*, čímž dojde k lepšímu odladění lokálních posunů způsobených atmosférickými jevy. Zlepšení nastává v důsledku provedení „Lucky imaging“ v menší lokální oblasti. Výsledný snímek vzniká opětovným složením 4 submatic, čímž může opět vzniknout defekt na sousedících hranách submatic.

Tento problém by bylo možné vyřešit slícováním s výstupním snímkem *Pro korel 9*. Nicméně by tento postup vedl k horšímu výsledku, protože průměr dvou odlišných snímků by odlišnosti zvýraznil a došlo by k vytvoření chyb v celém obrázku. Takže ve výsledku by se v obrazu mohlo objevit více chyb.

## 5.3 Uložení a ostření

Výsledný obrázek vybrané metody slícování je vykreslen v okně *Výsledek zpracování*. Zároveň se nám v panelu *slícovací operace* zaktivní tlačítko *Uložit obrázek* a tlačítko *Ostření*. Pro názornost přiložen obrázek Obrázek 5-6





Obrázek 5-6: Na obrázku zachycen zpracovaný obrázek a aktivace tlačítek uložení a ostření

### 5.3.1 Export výsledků, dat

Tlačítko *Uložit obrázek* ukládá výsledek naposledy použité metody pro slícování, který je uložen v pomocném souboru programu *VYSLobr.mat*. V souboru je uložen výsledný snímek, informace o použité metodě a výsledný počet vstupních snímků do metody. Tento soubor si drží uložená data do příštího provedení výpočtu libovolné funkce slícování. Proto každou vypočtenou metodu, kterou chceme uložit, musíme uložit bezprostředně po výpočtu (zvlášť).

Po stisknutí tlačítka *Uložit obrázek*, jsme vyzváni k nastavení místa pro uložení. Do tohoto místa se nám uloží obrázek ve formátu *bmp*, v názvu nese jméno metody a počet snímků (*AritPrum\_70.bmp*, *ProkorelSub9\_37.bmp*). Zároveň se nám do tohoto místa vyexportují dva soubory: *VstupniPROPOCTY.xls*, *Hodnoty\_Zarovnani.xls*. V souboru *VstupniPROPOCTY.xls* jsou uloženy samostatné tabulky, každá tabulka má svůj list souboru:

- DY...posuny v ose y, jednotky pixel
- DX...posuny v ose x, jednotky pixel
- ROT...rotace obrázku ve stupních
- KOREL...korelační shody mezi obrázky, nabývá hodnot od 0 do 1.
- VY...počet pixelů v ose Y (většího snímku)
- VX...počet pixelů v ose X (většího snímku)

Tyto tabulky jsou čtvercového rozměru, kdy první řádek a sloupec obsahují název obrázku. Buňka *A1* nese název tabulky. Číselná část tabulky odpovídá výpočtům každý s každým. Pouze u tabulky korelace (*KOREL*) je pro usnadnění další práce v programu na hlavní diagonále místo hodnoty 1 zapsaná hodnota 0, protože program nebude provádět slícování prvního obrázku s prvním obrázkem. Pro ukázkou uvádím tabulku korelace (Tabulka 5-1). Ostatní tabulky se liší jen v políčku *A1* (*KOREL*, *DY*, *DX*, *ROT*,

$Y$ ,  $X$ ) a číselných hodnotách. V ukázkové tabulce je výběr 6 snímků z množiny po sobě pořízených 500 snímků. Z tabulky tedy lze porovnat korelační rozdíl mezi snímky z první desítky se snímkem z poslední dvacítky snímků.

Tabulka 5- 1: Ukázka exportované tabulky korelačních hodnot:

KOREL	2013_2_27_23-3-55_1.bmp	2013_2_27_23-3-55_10.bmp	2013_2_27_23-3-55_2.bmp	2013_2_27_23-3-55_3.bmp	2013_2_27_23-3-55_4.bmp	2013_2_27_23-3-55_490.bmp
2013_2_27_23-3-55_1.bmp	0	0,999875	0,999952	0,999929	0,999929	0,990804
2013_2_27_23-3-55_10.bmp	0,999875	0	0,999889	0,999901	0,999901	0,99113
2013_2_27_23-3-55_2.bmp	0,999952	0,999889	0	0,999972	0,999972	0,990895
2013_2_27_23-3-55_3.bmp	0,999929	0,999901	0,999972	0	1	0,990899
2013_2_27_23-3-55_4.bmp	0,999929	0,999901	0,999972	1	0	0,990899
2013_2_27_23-3-55_490.bmp	0,990804	0,99113	0,990895	0,990899	0,990899	0

Soubor *Hodnoty\_Zarovnání.xls* obsahuje výslednou tabulku použitou pro zarovnání vstupních snímků z programové složky *nactene* do programové složky *zarovnane*. Ukázka tabulky výstupní tabulky Tabulka 5-2.

Tabulka 5- 2: Ukázka zarovnávací tabulky vybrané množiny dat

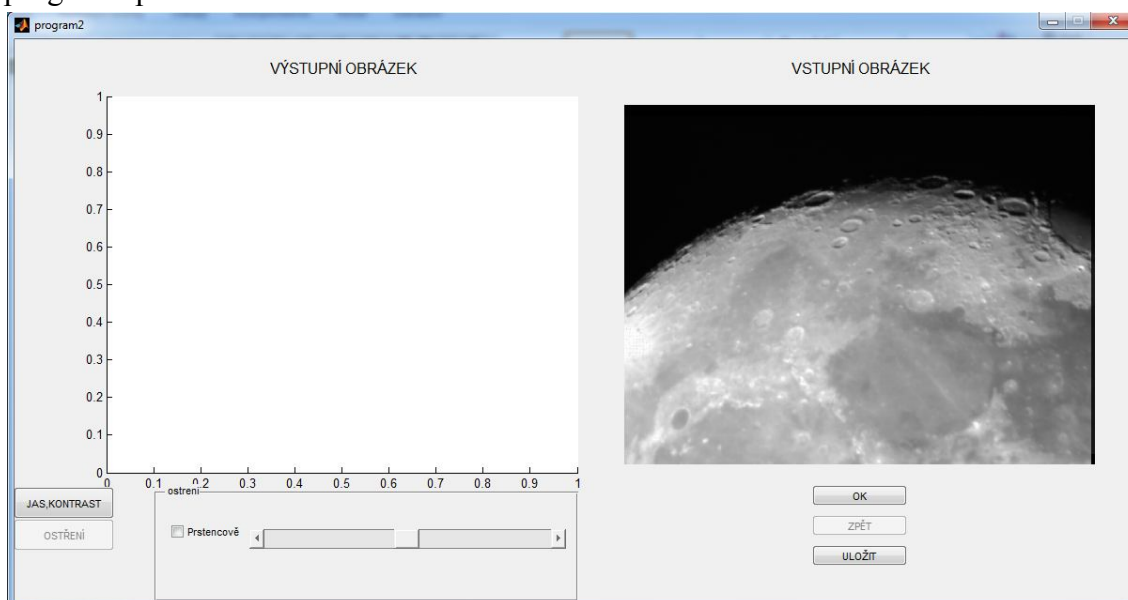
OBR1	OBR2	DY	DX	THETA	Vby	Vbx	KOREL
2013_2_27_23-3-55_10.bmp	2013_2_27_23-3-55_1.bmp	0	0	0	960	1280	0,999875
2013_2_27_23-3-55_10.bmp	2013_2_27_23-3-55_2.bmp	0	0	0	960	1280	0,999889
2013_2_27_23-3-55_10.bmp	2013_2_27_23-3-55_3.bmp	0	0	0	960	1280	0,999901
2013_2_27_23-3-55_10.bmp	2013_2_27_23-3-55_4.bmp	0	0	0	960	1280	0,999901
2013_2_27_23-3-55_10.bmp	2013_2_27_23-3-55_490.bmp	-28	10	0	960	1280	0,99113

Pozorný čtenář si správně všiml, že jeden stejnojmenný soubor s těmito tabulkami již byl exportován při provádění propočtů odlišností s uložením do složky, odkud byly čerpány vstupní snímky. V tom případě šlo především o to, aby se zachovaly již jednou vypočítané vlastnosti do budoucna a proto každá další tabulka se stejným jménem má přidělené v názvu inkrementované číslo, aby nedocházelo k přepisu. Důvodem druhého exportu stejné tabulky je především pro snadnější přístup k parametrům výsledného obrázku.

Export tabulek a obrázku po stisku tlačítka pro uložení se provádí do umístění uložení výstupního obrázku. V tomto případě se ale stejnojmenné soubory přepíše, stejně jako stejnojmenné výstupní obrázky. Na to musí uživatel pamatovat.

### 5.3.2 Režim ostření

Pokud chceme u výsledného obrázku slícování provést zaostření, úpravu jasu, nebo kontrastu, stiskneme tlačítko Ostření. Tím se přepneme do nového grafického rozhraní, které si překopíruje výstupní snímek z prvního programu, a následně pracuje jako samostatný program, aniž by zasahoval do výsledků z prvního programu. Výhodou je, že pokud se nám práce ostření nepodaří, stačí ukončit tento program a znovu ho vyvolat tlačítkem Ostření v prvním programu. Na obrázku obrázek 5-7 je vidět grafické okno programu pro ostření.



Obrázek 5-7: Obrázek zachycuje program2 pro ostření bezprostředně po načtení.

V levém okně vidím aktuální provedené změny na vstupním obrázku, který je vidět v pravém okně. Program má režim pro ostření a režim pro ladění jasu a kontrastu. V režimech je možno průběžně přepínat, ale vždy se pracuje s posledním aktuálním uloženým vstupním obrázkem. Například když uživatel usoudí, že způsobená změna kontrastu je v pořádku, stiskne tlačítko *OK*. V této chvíli se původní vstupní obrázek uloží do pomocné paměti (pro případ potřeby návratu k předchozímu), následně se aktuální výstupní obrázek uloží jako vstupní obrázek programu, a v této chvíli se i zobrazí v pravém okně. Následně může uživatel pokračovat v dalších úpravách, například změnit jas. V případě, že je uživatel s výsledkem nespokojen, můžeme se vrátit k předchozímu uloženému snímku tlačítkem *zpět* (pomocná paměť umožňuje návrat pouze o jedna zpět). Pokud usoudí uživatel, že jeden krok zpět je již nedostačující, může jednoduše ukončit okno křížkem a vyvolat program ostření znovu.

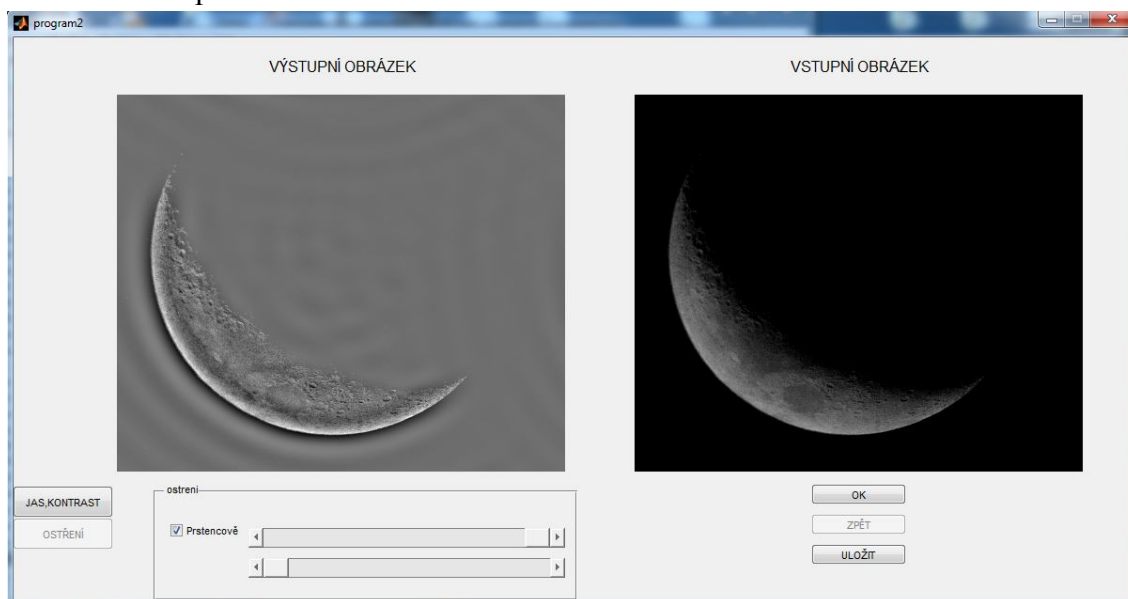
V případě spokojenosti může uživatel tlačítkem *Uložit* uložit aktuální výstupní snímek (snímek zobrazen v levém zobrazovacím okně).

### 5.3.2.1 Ostření

Zaostřování vstupního snímku je prováděno ve frekvenčním spektru s prohozením čtverců (přesun jasových složek na střed). Takto upravený obraz se filtruje pomocí kružnice. V principu v programu zvolím průměr kružnice, která má střed uprostřed filtrovaného obrázku. Obvod kruhu včetně obsahu má přiřazenou hodnotu 1, vně kruhu je 0. Vynásobením frekvenčního snímku s kružnicí proběhne vyfiltrování (odstranění) nízkých frekvencí (vnějšek kružnice). Po přepočtení výsledného snímku zpět do časového spektra vidíme zaostřenější, nebo rozostřenější obraz.

Zaostření lze udělat i prstencově, to znamená, že volíme dva průměry prstence (vnitřní, vnější), čímž se určuje šířka prstence a frekvenční spektrum pro výsledný obraz. Filtrací prstencem vyřadíme nízké frekvence vně vnějšího obvodu prstence a vysoké frekvence uvnitř malého průměru prstence.

Defaultně se zobrazuje ostření kruhem, velikost průměru nastavujeme posuvníkem. Pro ostření prstencem se zaškrtně políčko, čímž se zaktivuje metoda a objeví se druhý posuvník pro volbu vnitřního průměru. Na obrázku obrázek 5-8 je názorná ukázka režimu ostření prstencem.



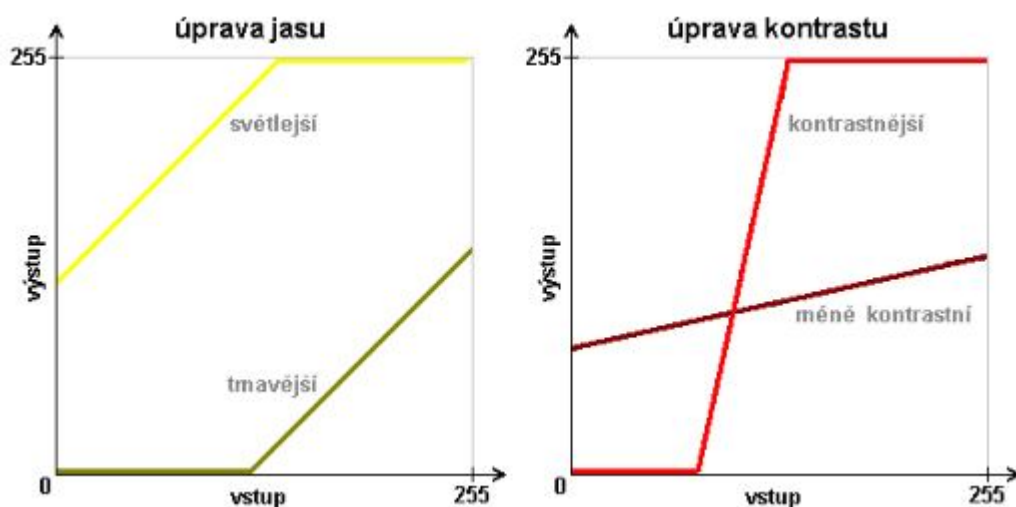
Obrázek 5-8: ukázka programu v režimu ostření prstencem.

### 5.3.2.2 Jas a kontrast

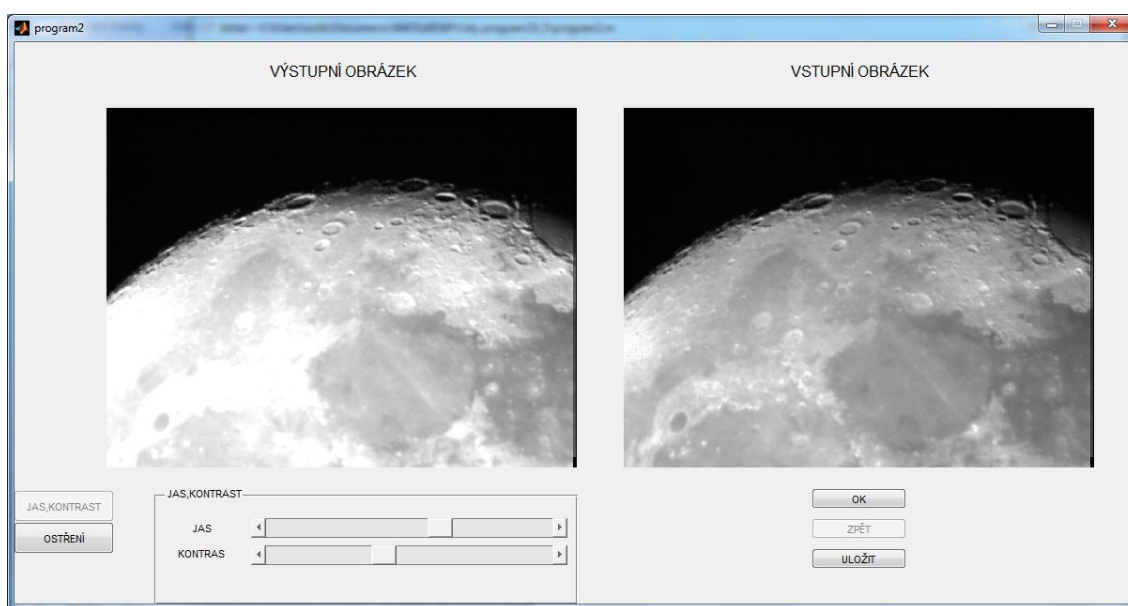
Ladění jasu a kontrastu program provádí bodově (bodová transformace). Jasové úrovně výstupního obrázku jsou přepočtené jasové úrovně podle převodní charakteristiky. Principiální převodní charakteristiky jasové transformace a kontrastní transformace jsou naznačeny v obrázku Obrázek 5-9.

Do režimu ladění jasu a kontrastu se přepneme tlačítkem *JAS,KONTRAST*. Tím dojde k záměně ovladacích panelů. Výchozí polohy jezdců jsou na středu, převodní přímky charakteristiky jsou se sklonem  $45^\circ$  a prochází počátkem  $\{0,0\}$ . Posunem jasového jezdce doprava dochází k posunu převodní přímky charakteristiky nahoru, v opačném případě dolů. Posunem kontrastního jezdce doprava dochází k rotaci

převodní přímky v proti směru hodinových ručiček. V opačném případě dochází k rotaci ve směru hodinových ručiček (střed rotace zvolen kolem středu). Ukázka programu zachycena na obrázku obrázek 5-10.



Obrázek 5-9: Jasová a kontrastní charakteristika. Čerpáno z [17]



Obrázek 5-10: Program v režimu ladění jasu a kontrastu

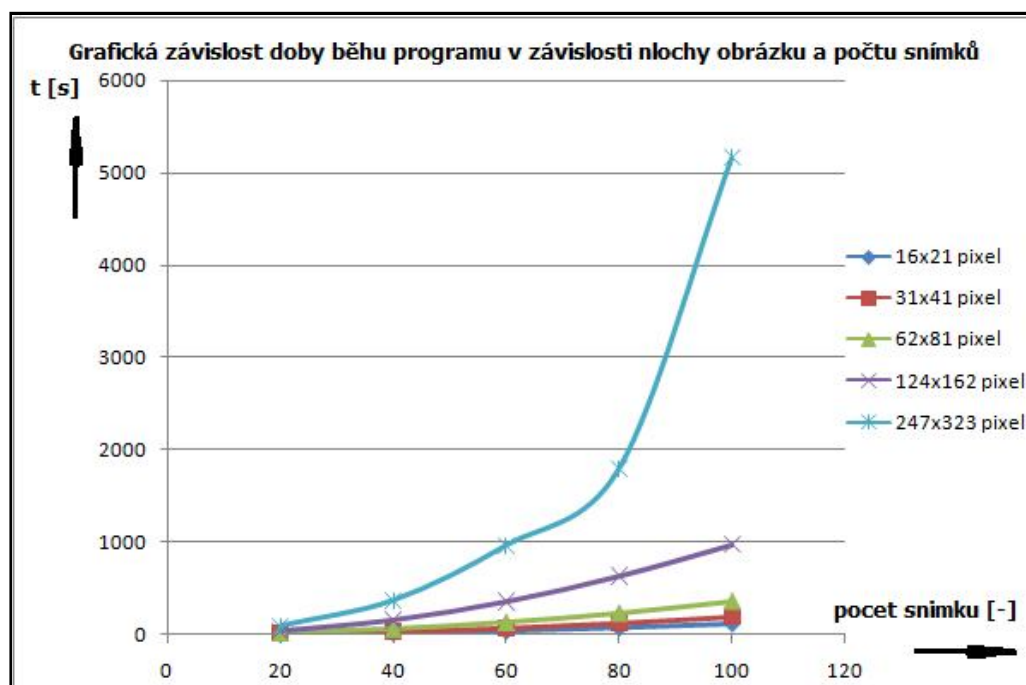
## 5.4 Programová náročnost výpočtů

Program je náročný na paměťový prostor pro ukládání mezivýsledků výpočtů v závislosti na rozměrech vstupních obrázků. Velikost snímků ovlivňuje dobu provádění výpočtů programu. Doba výpočtů je zároveň závislá na hardwarovém složení počítače. Pro názornost náročnosti výpočtů programu je níže uvedena tabulka (tabulka 5-3) zaznamenávající časové závislosti. V tabulce je porovnávána doba běhu programu v závislosti na rozměru snímku a v závislosti na počtu snímků. Čas T1 je dobu trvání výpočtu načtení vstupních snímků do složky *nactene* včetně výpočtu jejich vlastností

(posun,rot,korel,...). Čas T2 měří totéž co T1 včetně zarovnání snímků do složky *zarovnané*.

Tabulka 5- 3: Závyslost doby výpočtu na změně rozměru snímku a počtu snímků

	16x21 pixel		31x41 pixel		62x81 pixel		124x162 pixel		247x323 pixel	
	T1[s]	T2[s]	T1[s]	T2[s]	T1[s]	T2[s]	T1[s]	T2[s]	T1[s]	T2[s]
<b>20 snímků</b>	7	8	10	11	16	17	40	42	91	93
<b>40 snímků</b>	21	23	33	35	57	59	157	159	370	371
<b>60 snímků</b>	45	47	72	74	129	131	357	359	965	967
<b>80 snímků</b>	78	81	127	130	227	230	633	636	1795	1797
<b>100 snímků</b>	121	124	197	200	355	358	973	976	5164	5168



Obrázek 5-11: Obrázek zobrazuje grafické vlastnosti času T1 z tabulky tabulka 5-1

Z tabulky, případně z obrázku Obrázek 5-11 vyplývá, že časová doba potřebná pro výpočet části programu roste exponenciálně s počtem vstupních snímků. Zároveň lze stejně tak odvodit exponenciální závislost času na velikosti snímku.

Zaznamenané měření bylo provedeno na stolním počítači:

- Intel(R), Pentium(R) D CPU 3.40GHz
- 3.41 GHz, 2,00GB RAM
- 32 bitový systém

## 5.5 Vstupní snímky programu

Vstupní astronomické snímky určené pro zpracování byly pořízeny panem ing. Ludkem Červinkou. Množina snímků uložena v přiloženém DVD.

### 5.5.1 Použitá technika pro pořízení snímků:

Složení sestavy:

Dalekohled: Sky-Watcher 250/1000

- Průměr zrcadla: 250 mm
- Ohnisková vzdálenost: 1000 mm
- Typ: Newton
- Ostření: dvourychlostní Crayford

Snímací zařízení:

Canon EOS 400D:

- Snímač CMOS ASP-C
- Velikost snímače: 22.2 x 14.8mm
- Rozlišení snímače 10-1 Mpix

Allied Vision Prosilica GV1290C:

- Snímač CCD kamera
- Rozlišení: 1280:x960
- velikost pixelu: 3.75x3.75  $\mu\text{m}$

Montáž EQ6: SKY-WATCHER NEQ

### 5.5.2 Ukázka pořízených snímků



Obrázek 5-12: obrázek ze složky Moon1

Obrázek 5-12: Moon1: Tohoto záběru bylo pořízeno 500 po sobě jdoucích snímků, po změně formátu s rozlišením 1280x960 pixelů. V programu vypočítané maximální posuny mezi prvními a posledními snímky 28 pixelů, nulová rotace. Nutno podotknout že snímky byli snímány při zapnutém posunu soustavy.



Obrázek 5-13: obrázek ze složky Moon\_1



Obrázek 5-13: Moon\_1: Tato tvář měsíce byla zachycena celkem 37x. Snímky byly pořízeny s vypnutým posunem snímací soustavy pro měsíc, proto mají rozlišení 2592x3888 pixelů. Program vypočítal maximální posun měsíce v ose y 1904 pixelů a v ose x 1226 pixelů. Maximální stanovená rotace  $1.623 \times 10^{-3}$  radiánů ( $0^{\circ}5'33.3''$ ).

## 6 ZÁVĚR

Během semestrálního projektu jsem provedl rešerši zdrojů informací k dané problematice zpracování obrazu. Vyzkoušel jsem jednotlivé operace s obrázky (prahování, konvoluce, Harrisův detektor,...) za pomoci vnitřních funkcí Matlabu, některé implementací definičních vzorců. Dále jsem zkoumal problematiku frekvenčního spektra.

K syntéze obrazu lze dojít mnoha způsoby. První způsob, kterým jsem se v projektu zabýval, bylo využití frekvenčního spektra, viz kapitola 3.1. Druhá metoda, kterou jsem se zabýval, je založena na detekci významných bodů v obraze pomocí Harrisova detektoru. K tomuto postupu by bylo možno využít některé matematické principy popsané v kapitole 2.2. Při přechodu ze semestrálního projektu na bakalářský bylo rozhodnuto, že se bude řešit problematika cestou frekvenčního spektra.

Na základě zadání byl vytvořen program, který provede nejprve zarovnání snímků. Následně jsou v programu k dispozici 4 slícovací metody bez použití „Lucky imaging“, jedná se o průměrové funkce. A jsou k dispozici 3 slícovací funkce s využitím „Lucky imaging“. Jakmile proběhne proces slícování, nabídne program uložení. Zároveň je k dispozici samostatný program pro zaostřování. Hlubší popis programu je v kapitole 5. Názorná ukázky funkčnosti některých funkcí vyobrazeny v Příloha 1-3. Jedná se o práci se 60 slícovanými, které nebyli dokonale zarovnány.

Program je sice vytvořen pro slícování šedotonových obrázků, ale lze to hodnotit kladně, protože program si vstupní barevný snímek sám převede na šedotonový snímek. Výsledné slícování je uspokojivé a navíc doba výpočtů barevného snímku by byla zhruba trojnásobná (3 matice R,G,B). Vzhledem k vysoké časové a paměťové náročnosti by bylo vhodné provést optimalizaci některých funkcí.

# Literatura

- [1] HORÁK, K. Zpracování vícerozměrných signálů: Cvičení 3 - Aritmetické operace. [online]. [cit. 2012-12-28]. Dostupné z: [http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercises/Exercise03/content\\_cz.php](http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercises/Exercise03/content_cz.php)
- [2] HORÁK, K.: 02-Diskrétní obraz, digitalizace [online]. 8.12.2012 [cit. 2012-12-28]. Dostupné z: [http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Lectures/lectures-pdf/02\\_Diskretni\\_obraz.pdf](http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Lectures/lectures-pdf/02_Diskretni_obraz.pdf)
- [3] ŠONKA, M., HLAVÁČ, V., BOYLE, R.: Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Thomson, Toronto, 2008. 829 p. ISBN 978-0-495-08252-1.
- [4] HLAVÁČ, V a J KYBIC. Digitalizace, kvantizace. [online]. [cit. 2012-12-28]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/33zsl1zima2005/slidy/digitalizace+kvantizace.pdf>
- [5] KALLOVÁ, I. Segmentace a detekce geometrických primitiv. [online]. [cit. 2012-12-28]. Dostupné z: [http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Lectures/lectures-pdf/09\\_Segmentace\\_obrazu.pdf](http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Lectures/lectures-pdf/09_Segmentace_obrazu.pdf)
- [6] HLAVÁČ, V, T SVOBODA a T WERNER. CESKÉ VYSOKÉ UCENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ, katedra kybernetiky Centrum strojového vnímání. *Detekce Hran*. 2010. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/11DigZprObr/22EdgeDetectionCz.pdf>
- [7] HORÁK, K.: 08-Detekce hran, [online]. [cit. 2012-12-28]. Dostupné z: [http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercises/Exercise08/content\\_cz.php](http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercises/Exercise08/content_cz.php)
- [8] Praktické využití metod digitálního zpracování obrazu. MIKŠÍK, Ondřej. GYMNAZIUM KROMĚŘÍŽ. [online]. 2007. vyd. [cit. 2012-28-12]. Dostupné z: <http://soc.nidm.cz/data/2007/01-2.pdf>
- [9] BÍLEK, P. Významné body v obraze: detekce, korespondence a lokalizace ve 3D. ČVUT, FEL katedra počítačů. [online]. 2007. vyd. [cit. 2012-30-12]. Dostupné z: [https://dip.felk.cvut.cz/browse/pdfcache/bilekp3\\_2007bach.pdf](https://dip.felk.cvut.cz/browse/pdfcache/bilekp3_2007bach.pdf)
- [10] KARÁSEK, M. Zpracování a vizualizace stereo snímků. Brno: VUT Brno, Fekt, 2012. 56s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Petr Petyovský. [cit. 2012-30-12]. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=52055](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52055)
- [11] NIELSEN, Frank. *Harris-Stephens' combined corner/edge detector* [online]. 2009, 21.9.2009 [cit. 2012-12-30]. Dostupné z: <http://www.lix.polytechnique.fr/~nielsen/INF555/HarrisStephen-INF555.pdf>
- [12] HORÁK, K.: 09- Filtrace ve frekvenční oblasti, [online]. [cit. 2013-1-2]. Dostupné z: [http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercises/Exercise09/content\\_cz.php](http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercises/Exercise09/content_cz.php)
- [13] DRUCKMÜLLER, M. PHASE CORRELATION METHOD FOR THE ALIGNMENT OF TOTAL SOLAR ECLIPSE IMAGES. *The Astrophysical Journal*. 2009-12-01, roč. 706, č. 2, s. 1605-1608. ISSN 0004-637x. DOI: 10.1088/0004-637X/706/2/1605. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/0004-637X/706/i=2/a=1605?key=crossref.6052059cb0fc7aae880ee12a3552e6a2>
- [14] LAUNDON, Robinson. Fourier Mellin Image Registration. In: *Matlab central* [online]. 27.4.2008. [cit. 2013-1-4]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19731-fourier-mellin-image-registration>

- [15] HONG-REN SU a SHANG-HONG LAI. Robust Fourier: Based image alignment with gradient complex image. *International Conference on Pattern Recognition: [proceedings]*. 2010. ISSN 1051-4651. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5595800>
- [16] LAW, Nicholas M. *Lucky Imaging: Diffraction - limited astronomy from the ground in the visible* [online]. Cambridge, 2006 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: [http://www.ast.cam.ac.uk/sites/default/files/nlaw\\_lucky\\_thesis.pdf](http://www.ast.cam.ac.uk/sites/default/files/nlaw_lucky_thesis.pdf). Dizertační práce. Cambridge University.
- [17] HORÁK, K. Zpracování vícerozměrných signálů: Cvičení 4 - Jasové transformace. [online]. [cit. 2013-5-25]. Dostupné z [http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercise04/content\\_cz.php](http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercise04/content_cz.php)

## Seznam příloh

### Příloha 1.

- Obr1: Aritmetický průměr 60 snímků s jasovou úpravou.
- Obr2: Medián 60

### Příloha 2.

- Obr3.: Modus pro 60 vstupních snímků
- Obr4: Prokorel9 60

### Příloha 3.

- Obr5: Lokkorelace 60

### Příloha 4. DVD

- elektronické verze bakalářské práce
- program
- vstupní snímky
- výstupní snímky